海事技術マネジメント学科の学生における海事志向性について

正会員○臼井英夫（神戸大学） 非会員 喜多保成（神戸大学） 正会員 世良 亘（神戸大学）

要旨

四方を海に囲まれている日本においては、海事関連産業は重要な産業であり、日本人海技者の必要性は従来から変わっていない。しかしながら、商船系大学、商船系高等専門学校などの船舶職員養成施設を取り巻く環境は大きく変わってきている。また、学生の進学志望動機や企業における採用状況も変わってきている。

そこで本研究では、船舶職員を目指すコースである神戸大学海事科学部海事技術マネジメント学科の 4 年生に対してアンケート調査を行い、学生の入学志望理由、乗船実習科進学の有無、就職先などについてデータの収集、解析を行った。そして、海事技術マネジメント学科が行っている教育方法・内容に関する問題点及び今後の課題について検討を行った。

キーワード：教育・訓練、海事関連産業、入学志望動機、就職先

1. はじめに

日本は四方を海に囲まれており、古来より海運が発展してきている。また、産業のグローバル化に伴い、輸出入の多くを海上輸送に頼っている。そのため、船舶運航を行う海技者の必要性は変わっていない。一方で、先進国である日本における日本人船舶職員の人件費は発展途上国と比較して高いものとなっており、日本人船舶職員の必要性が相対的に下がっているという現状にある。しかしながら、海技者としての知識、技能の伝承は、日本が海上輸送による輸出入に頼らざるを得ない以上今後とも必要であり､海技者の養成は継続していかなければならない。

しかしながら、近年の海技者を取り巻く環境の変化は激しく、海事教育機関が環境の変化に追従できていない状況にある。一方で、高等学校や進学塾における受験対策、高校生の海事に対する意識や大学選択における考え方などが、海事教育機関が期待している学生像と一致していないという状況にある。

そこで本研究では、神戸大学海事科学部の学生が持っている海事志向性についてアンケート調査を行い、海技者としての教育・訓練を受けている学生の意識について明らかにするとともに、今後の課題について検討を行った。

なお本研究では、船舶に乗り組み、船舶運航を行うことのみを目的とした者を船舶職員と呼び、陸上での運航管理や海事関連産業での活動が行える者を海技者と呼ぶ。

2. 海技者教育を取り巻く状況

日本における外航船舶職員の養成は、商船系大学、商船系高等専門学校、海上技術短期大学校、海上技術学校などの登録船舶職員養成施設で行われている。また、「新３級」と呼ばれる一般大学、短期大学、高等専門学校の卒業生が、海技大学校、航海訓練所、船会社における教育・訓練を受けることで外航船舶職員となる制度も確立されている。

日本人海技者の不足に対応するため、日本政府においては海洋基本法の制定、国際船舶制度の導入、トン数標準税制の導入などの施策を実行しているものの、日本における海技者の養成教育は縮小の傾向にある。

また、国際海事機構（International Maritime Organization, IMO）が定める条約・コードの改正・新設、雇用状況の変化、船舶運航用機器の進化、運航管理体制の変化などにより、船舶職員として求められる知識、技能も変化しており、船舶職員養成機関においては最新の教育・訓練を行う必要があると同時に、大学や高等専門学校においては高等教育機関としての教育も行う必要があり、教育内容や実施体制に苦慮している現状にある。

3. 海事科学部の変遷

時代の変化に対応するため、海事科学部では以下のような教育体系の変遷があった。

2003 年 10 月に、神戸商船大学と神戸大学が統合し、海事科学部が設置され、海事技術マネジメント学課程 : 90 名、海上輸送システム学課程 : 50 名、マリンエンジニアリング課程 : 60 名の 3 課程体制となった。

2004 年 4 月に、国立大学法人法により国立大学法人神戸大学となった。

2006 年 4 月に AO 入試を開始した。海事技術マネジメント課程の AO 入試の定員は、30 名である。

2008 年 4 月に、海事技術マネジメント学科、海洋ロジスティクス科学科、マリンエンジニアリング学科の 3 学科に改組した。AO 入試は、改組前と同様に行っている。

海事技術マネジメント学科においては、3 級海技士（航海）の資格取得を目的とした航海分野と、3 級海技士（機関）の資格取得を目的とした機関分野の 2 分野に分けて、それぞれ船舶職員としての養成を行うこととなった。また、管理者としての教育を行うため、海事安全・技術管理分野の科目群を履修させることにより､海技者教育を行うこととなった。

4. 方法

海事技術マネジメント学科の 4 年生において、特別研究、船舶実習 3（航海訓練所による 3 か月間の乗船実習)を除く卒業に必要な全ての単位を満足し、特別研究を履修し､3 月に卒業予定の学生に対して、アンケート用紙（多肢選択式、自由記述欄有）の設問に回答させる形式において調査を行った。

調査対象となった学生の総数は、航海分野においては AO 入試 : 8 名、一般入試前期日程 : 20 名、一般入試後期日程 : 8 名、機関分野においては、AO 入試 : 11 名､一般入試前期日程 :29 名､一般入試後期日程 : 5 名であった。

回答を得られた学生の数は、航海分野においては AO 入試 : 5 名（回答率 62.5%)、一般入試前期日程 : 10 名（回答率 50.0%)、一般入試後期日程 : 6 名（回答率 75.0%)、機関分野においては、AO 入試 : 9 名（回答率 81.8%)、一般入試前期日程 : 22 名（回答率 75.9%)､一般入試後期日程 :4 名 (回答率 80.0%) であった。

5. アンケート結果

アンケートの設問と各入試別の回答数の一部を以下に示す。表の中で、Ｎは航海分野を、Ｅは機関分野を意味する。また、ＡはAO 入試入学者を、前は一般入試前期日程入学者を、後は一般入試後期日程入学者を意味する。

表 1　海事科学部を受験した理由（複数回答）

	N			E		
	A	前	後	A	前	後
入学前から航海系の船舶職員の仕事に興味、関心があったから	3	5	0	0	1	0
入学前から機関系の船舶職員の仕事に興味、関心があったから	0	0	0	2	1	0
入学前から海事関連産業の仕事に興味、関心があったから	1	0	3	2	1	1
高校時代の先生に勧められたから	1	4	1	5	6	0
保護者、近親者に勧められたから	0	1	0	0	6	0
国公立の大学を希望していたから	0	3	4	6	13	3
工学系の学部を希望していたから	0	0	2	1	7	0
その他	0	1	0	1	3	0

表 2　学科配属の際に海事技術マネジメント学科に決めた理由（一般入試）

	N		E	
	前	後	前	後
航海系の船舶職員の仕事に興味、関心があったから	6	2	1	0
機関系の船舶職員の仕事に興味、関心があったから	0	0	2	1
海事関連産業の仕事に興味､関心があったから	1	1	2	0
一カ月の船舶実習を履修して船舶職員の仕事に興味､関心を持ったから	1	3	7	0
一カ月の船舶実習を履修して海事関連産業の仕事に興味､関心を持ったから	1	0	3	1
他学科を志望したが入れなかったから	1	0	4	0
その他	0	0	3	2

表 3　航海分野と機関分野のどちらかを選択した際の理由（複数回答）

	N			E		
	A	前	後	A	前	後
航海系の分野に興味、関心があったから	5	8	6	0	0	0
機関系の分野に興味、関心があったから	0	0	0	3	15	3
学年担当の教員に相談して勧められたから	0	0	0	0	0	0
保護者、近親者に勧められたから	0	0	0	0	0	0
工学系は他の業種にも応用が効くと聞いたから	0	0	0	7	10	1
その他	0	2	0	1	2	1

表 4　現在の進路を決めた時期

	N			E		
	A	前	後	A	前	後
大学に入学する以前から	2	3	0	1	4	0
船舶実習１履修後	0	0	4	0	4	0
学科配属後	0	0	1	0	1	0
二年生の船舶実習２履修後	0	2	0	2	1	1
インターンシップ履修後	0	0	0	1	0	1
三年生の船舶実習２履修後	1	0	0	1	6	0
進路相談会後	0	0	0	1	0	0
就職活動中	1	5	1	3	6	2
その他	1	0	0	0	0	0

表 5(a)　卒業後の進路（乗船実習科進学予定者）

	N			E		
	A	前	後	A	前	後
船舶職員として就職する	4	3	2	2	8	1
海事関連産業に就職する	0	3	3	0	1	0
一般企業に就職する	0	0	0	0	0	0
大学院海事科学研究科に進学する	0	1	0	0	1	0

表 5(b)　卒業後の進路（学部卒業予定者）

	N			E		
	A	前	後	A	前	後
海事関連産業に就職する	0	0	0	2	1	2
一般企業に就職する	1	3	1	3	8	1
大学院海事科学研究科に進学する	0	0	0	1	3	0
他の研究科または他大学の大学院に進学する	0	0	0	0	0	0
その他	0	0	0	1	0	0

表 6　就職を決めた理由（企業内定者）（複数回答）

	N			E		
	A	前	後	A	前	後
内定企業に興味、関心があったから	4	6	5	4	14	3
研究室の教員に勧められたから	0	1	0	1	0	0
就職担当の教員に勧められたから	0	0	0	0	0	1
家族、近親者が同じ業種の企業に勤めていたから	0	0	0	0	0	0
実家、地元から近かったから	0	1	0	0	0	2
インターンシップで行った企業だったから	1	0	1	0	2	0
内定をもらえたから	0	4	1	3	3	2
その他	2	0	0	1	2	0

6. 考察

6.1 入学志望理由

表 1 より、AO 入試入学者の場合、航海分野では入学前から船舶職員に興味・関心がある者が多く、機関分野では高等学校の先生の勧めや国公立の学部進学希望を理由にしている者が多い。AO 入試では、入試の段階で希望する分野への強い興味・意欲を持っている者に入学の機会を提供しようとしているが、結果としてはアドミッションポリシーを理解しないまま受験し、入学していることが分かった。そのため、AO 入試の実施に当たっては、面接において、受験生が正しくアドミッションポリシーを理解しているか、学科における教育体系を把握しているかなどについて把握する必要がある。

一般入試入学者の場合、前期日程、後期日程とも

に、高等学校の先生の勧めや国公立の大学の工学系の学部進学希望者が多い。船舶職員養成機関としての立場から見ると、海事科学部全体として一括入試を行っているため、海技者希望の学生として入学する機会を失わせている結果となっており、入試の在り方について検討する必要がある。

6.2 学科・分野選択

表 2 より、学科を選択する際に、航海分野及び機関分野において、船舶職員の仕事に興味、関心を持った学生が多いことが分かる。1 年生に海事科学部の全ての学生が行っている 1 か月間の船舶実習が海・船に対する良い効果を果たしていることが分かる。残念ながら、一部の学生においては、他学科を志望したものの、定員の関係からやむを得ず海技技術マネジメント学科に配属されていることが分かる。これらのことから、入学時にはそれほど興味・関心がなかった学生が海事技術マネジメント学科への配属を希望しているという観点から見て、学部共通科目である「海・船に親しむ」という科目や 1 年生における 1 か月の船舶実習が学生の学科配属に対して有効な影響を与えており、今後も活用することが必要である。

また表 3 より、分野選択においては、それぞれの分野に興味・関心を持った学生が多いが、機関分野では工学系という観点で分野を選択していることが分かる。機関分野は機関士を養成するばかりが存在理由ではないものの、学生に対する海技士についての理解の促進を図る必要がある。

6.3 進路

表 4 より、進路を決める時期は、入学前から、船舶実習 1 履修後、3 年生の船舶実習 2 履修後、就職活動中の時に、それぞれ回答が集中していることが分かる。これらの時期に、就職ガイダンスを行うようにして、学生の就職に対する意識付けをすることが必要である。

表 5(a)及び表 5(b)より、AO 入試入学者の場合、航海分野の学生は乗船実習科まで進学し、船舶職員となる者が多い。しかしながら、機関分野の学生は船舶職員となる者のみが乗船実習科に進学し、他の者の多くは陸上の企業に就職している。海技者としての進路が期待されている AO 入試入学者でありながら、機関分野においては期待通りの結果となってはいない。就職先としての企業の採用方針にもかかわる問題ではあるが、出口として船会社を含む海事関連産業に積極的に就職できるような体制を構築する必要がある。

一般入試入学者の場合、前期日程では、乗船実習科に進学する場合は船舶職員となる者が多いが、学部卒業者は陸上での一般企業に就職する者が多い。また、大学院進学者も工学系の学部として大学院まで進学している。後期日程では、乗船実習科に進学する場合は船舶職員となる者のみであるが、学部卒業であっても海事関連産業に就職する者が多い。AO 入試入学者とは学生数が異なるため単純な比較はできないが､海技者として就職する者が AO 入試入学者よりも割合が高い。学科における座学教育や航海訓練所の練習船による実習を通じて、海・船に興味・関心を持ち、船会社を含む海事関連産業に就職しているということは、海技者教育としてのカリキュラムが学生に対して効果をもたらしていると考えられる。座学と実習を組み合わせた、いわゆるサンドウィッチ方式が大きく貢献しているものであり、今後もこの教育・訓練体制を維持していく必要がある。

また表 6 より、就職先を決めた理由として、内定企業に興味・関心があった学生が最も多いが、内定をもらえたからという積極的ではない理由を挙げている学生も見受けられる。最初の企業の採用試験に落ちた場合に、次の就職先を見つけることが大変困難であることが原因として考えられるので、複数の企業を受験可能にするよう、就職試験の複線化が必要である。

7. おわりに

日本人船舶職員の不足が懸念されている状況において、神戸大学海事科学部における海技者養成教育がどのような効果をもたらしているかについて、学部卒業予定者に対するアンケート調査を行った。その結果、AO 入試入学者の場合、必ずしも学科が期待している者が入学している訳ではないことが分かった。一方で、入学前には海・船に興味・関心の無かった一般入試入学者の方が船会社を含む海事関連産業に多く就職している現状を把握できた。

平成 25 年度入学者から､新しい学科体制で教育を行っていくこととなっているが、同様のアンケート調査を行いながら、カリキュラム、教育内容、教育方法、船舶実習といった海事科学部の在り方について、今後も検討していきたい。

水産高校生の職業意識に関する研究

正会員　○行平　真也（福岡工業大学環境科学研究所）　正会員　高山　久明（長崎大学）
正会員　清水　健一（長崎大学長崎丸）　非会員　養父　志乃夫（和歌山大学）

要旨

水産高校生の職業に対する意識と進路選択に対する自己効力を調査し、それらの関係について検討を試みた。その結果、職業に対する意識について、就きたい職業の有無については男性、3 学年、航海コース、船に接する機会の多い生徒、乗船経験が多い生徒がより就きたい職業を意識していることが分かった。また、職業意識と進路選択に対する自己効力との関係については、自己効力尺度の評点合計値が就きたい職業が「ある」「なんとなくある」「ない」の属性の順に有意に高い結果となったことから、関係があることが示唆された。

キーワード：教育・訓練、水産高校、職業意識、職業指導

1. はじめに

水産高等学校（以下、水産高校）は水産に関する学科を設置する高校であり、現在、全国に 42 校設置されており、平成 24 年度の生徒数は 9,612 名である[(1)]。水産高校における教育は、全国の各地域における水産業界において中核的役割を担い、水産業を推進する技能・技術者及び経営者などの産業人を育成する使命を持っている[(2)]。

産業と密接に関わる水産高校の状況は地域の水産業の動向に大きく影響されるとともに少子化による高校入学者数の減少などの影響を受ける。そのため、近年、高校の統廃合や水産高校から海洋高校への名称の変更、学科再編などが行われている。

その現状下において、著者らは今までに水産高校の生徒（以下、水産高校生）を対象とした研究を行ってきた[(3)(4)(5)]。職業意識については、漁業者のイメージについての研究[(4)]を実施し、漁業者の志向性・イメージは学年や乗船実習の経験など、生徒が受けた教育や経験が志向性に影響を与えたことを示唆した。しかし、水産高校生の進路を鑑みると漁業分野に就業する生徒は少なく、前述の研究だけでは水産高校生の職業意識を考察するには不十分であると言える。

そこで、本研究では水産高校生を対象として、就きたい職業や職業に関する興味について実態を把握し、さらに進路選択に対する自己効力を調査することで、それらとの関係について考察を行うことを目的とした。

2. 方法

2.1　調査内容

調査は質問紙法を用いた。質問紙は 3 部構成とした。1 部は水産高校生の属性（性別・学年・高校の種類・コース・生育地・船に接する機会・乗船経験）に関する設問から構成した。2 部は工業高校の生徒を対象に行った先行研究[(6)]を基に就きたい職業の有無（「ある」、「なんとなくある」、「ない」）、就きたい職業の具体的な名称（自由記述）、就きたい職業に向いているか（「向いている」から「向いていない」までの 5 件法で求めた）、就きたい職業にどの程度就きたいか（「必ず就きたい」、「就きたい」、「出来れば就きたい」）など職業意識についての設問から構成した。3 部は進路選択に対する自己効力と職業意識との関係を調べることを目的とし、浦上[(7)]が作成した進路選択に対する 30 項目からなる自己効力尺度から構成した。自己効力尺度については、回答はそれぞれの項目に対し「非常に自信がある」から「全く自信がない」までの 4 件法で求めた。

2.1.1　自己効力について

自己効力とはある行動が自分にうまくできるかどうかという予期の、認知されたものであり、行動と直接的な関連を持つと仮定されている[(8)]（訳文は(7)から引用）。この自己効力概念は進路関連領域に適用されており、進路選択に対する自己効力という概念が提唱されている。理論的には進路選択に対する自己効力の強い者は進路選択行動を活発に行い、また努力もするため、その行動は効果的なものになる。一方、自己効力の弱い者は進路選択行動を避けたり、不十

分な活動に終始してしまうと考えられる[7]とされている。そのため、水産高校生の自己効力を把握し、その属性や職業意識との関係を整理することで、自己効力の育成、ひいては職業意識の向上について検討することができると考えた。

2.2 調査時期及び調査対象

調査は2011年6月から9月にかけて､九州地方、四国地方を中心に水産高校 10 校に調査協力を依頼し、実施され、水産高校生計2,046名から回答が得られた。しかし、総合学科など水産系の学科・コース以外の生徒の回答も多く散見されたため、水産系コース（A航海、B機関、C食品、D栽培・養殖・生物、E 情報）のみを有効回答とした。また、専攻科生についても解析から除外した。そのため、有効回答数は1,310名とし、解析に供した。

表1 調査対象者の属性

1. 性別		%
A 男性	1,043	79.6
B 女性	267	20.4
合計	1,310	
2. 学年		%
A 1学年	263	20.1
B 2学年	568	43.4
C 3学年	479	36.6
3. コース		%
A 航海	286	21.8
B 機関	324	24.7
C 食品	354	27.0
D 栽培･養殖･生物	234	17.9
E 情報	112	8.5
4. 生育地		%
A 都市	634	48.4
B 農村	218	16.6
C 漁村	321	24.5
D 山村	137	10.5
5. 生育環境		%
A 海辺	137	10.5
B 海が近い	663	50.6
C 内陸	403	30.8
D どちらでもない	107	8.2
6. 船に接する機会		%
A 多い	439	33.5
B 少ない	463	35.3
C ほとんどない	408	31.1
7. 練習船の乗船経験		%
A 2週間以上の乗船経験	251	19.2
B 乗船経験がある	760	58.0
C 乗船経験がない	299	22.8

3. 結果と考察

3.1 調査対象者の属性

調査対象者の属性については表1に示すとおりである。なお、水産系コースの生徒のみを有効回答としたことから、高校の種類は全て水産高校であるため、属性から除外した。

3.2 水産高校生の職業意識

3.2.1 就きたい職業の有無

回答者属性と「将来就きたい職業はあるか？」の設問に対する回答結果を表2に示す。集計値に対してカイ二乗検定を行った結果、就きたい職業の有無に関して、属性間に有意差が確認されたのは性別、学年、コース、船に接する機会、練習船の乗船経験であった。また、残差分析を行った結果、性別においては男性、学年では3学年、コースでは航海コース、船に接する機会が多い生徒、乗船経験が2週間以上ある生徒が有意に高い結果となった。

表2 属性ごとの就きたい職業の有無の回答結果
(ページの都合で「ある」のみ)

		就きたい職業がある 度数	割合	χ^2	有意差
全体(1,310)		645	49.2%		
性別	男性	529	50.7%	7.450	*
	女性	116	43.4%		
学年	1学年	109	41.4%	49.239	**
	2学年	246	43.3%		
	3学年	290	60.5%		
コース	航海	180	62.9%	37.204	**
	機関	160	49.4%		
	食品	148	41.8%		
	栽培	115	49.1%		
	情報	42	37.5%		
生育地	都市	308	48.6%	7.353	
	農村	104	47.7%		
	漁村	165	51.4%		
	山村	68	49.6%		
地理	海辺	74	54.0%	5.884	
	海が近い	328	49.5%		
	内陸	194	48.1%		
	どちらでもない	49	45.8%		
船機会	多い	246	56.0%	16.165	**
	少ない	224	48.4%		
	ほとんどない	175	42.9%		
乗船経験	2週間以上	155	61.8%	27.375	**
	経験がある	359	47.2%		
	経験がない	131	43.8%		

(*:$p<0.05$, **:$p<0.01$)

※灰色になっている箇所は残差分析により有意に高いとされた属性（$p<0.05$）

3.2.2 就きたい職業への適性

「就きたい職業に向いているか？」の設問に対して、3.2.1の就きたい職業の有無において、「ある」または「なんとなくある」と回答した945名から回答を得た。その回答に対し、「向いている」を5点、「向いていない」を1点とし得点化した。就きたい職業が「ある」とした回答者と就きたい職業が「なんとなくある」とした回答者間を比較した結果、有意差がみられた。就きたい職業の有無の程度により、適性への回答が異なるのは自然なことと考え、3.2.1の回答結果により分けて解析を行った（予稿では紙面の都合上「ある（645名）」のみを紹介する）。

統計解析は、一元配置分散分析を行った後、シェフェ検定（Scheffé's F test）を行った。

就きたい職業があるとした回答者における属性間の解析の結果を表3に示す。一元配置分散分析で有意だったのはコース間と船に接する機会間であった。コースについてはコース間において有意差はみられなかったが、船に接する機会間においては船に接する機会が多いとする回答者が少ない、ほとんどないとする回答者と比較し有意に高い結果となった。

表 3 就きたい職業が「ある」とした回答者の属性ごとの就きたい職業への適性の回答結果と分散分析結果（5件法）

		平均	標準偏差	F値	有意水準
全体(645)		3.918	0.876		
性別	男性	3.926	0.873	0.273	
	女性	3.879	0.896		
学年	1学年	3.844	0.884	1.797	
	2学年	3.866	0.863		
	3学年	3.990	0.882		
コース	航海	3.944	0.926	2.451	*
	機関	3.844	0.836		
	食品	3.851	0.860		
	栽培	4.122	0.870		
	情報	3.762	0.821		
生育地	都市	3.906	0.859	1.317	
	農村	3.837	0.871		
	漁村	4.024	0.890		
	山村	3.838	0.924		
地理	海辺	3.946	0.874	0.495	
	海が近い	3.881	0.864		
	内陸	3.943	0.871		
	どちらでもない	4.020	0.989		
船機会	多い	4.069	0.880	6.143	**
	少ない	3.844	0.846		
	ほとんどない	3.800	0.884		
乗船経験	2週間以上	3.994	0.879	1.324	
	経験がある	3.919	0.882		
	経験がない	3.824	0.855		

(*:p<0.05, **:p<0.01)

3.2.3 就きたい職業への程度

「就きたい職業にどの程度就きたいか？」の設問に対して、3.2.1の就きたい職業の有無において、「ある」、または「なんとなくある」と回答した945名から回答を得た。その回答に対し、「必ず就きたい」を3点、「就きたい」を2点、「出来れば就きたい」を1点とし得点化した。就きたい職業が「ある」とした回答者と就きたい職業が「なんとなくある」とした回答者間を比較した結果、有意差がみられた。先ほどと同様に就きたい職業の有無の程度により、適性への回答が異なるのは自然なことと考え、3.2.1の回答結果により分けて解析を行った（予稿では紙面の都合上「ある（645名）」のみを紹介する）。

3.2.2.と同様の解析をした結果を表4に示す。一元配置分散分析で有意だったのは学年間と練習船の乗船経験間であった。また、学年間においては3学年が2学年と比較し有意に高い結果となった。

表 4 就きたい職業が「ある」とした回答者の属性ごとの就きたい職業への程度の回答結果と分散分析結果（3件法）

		平均	標準偏差	F値	有意水準
全体(645)		2.580	0.594		
性別	男性	2.597	0.586	2.563	
	女性	2.500	0.626		
学年	1学年	2.633	0.572	5.756	**
	2学年	2.480	0.631		
	3学年	2.645	0.559		
コース	航海	2.689	0.510	2.975	*
	機関	2.556	0.642		
	食品	2.527	0.600		
	栽培	2.478	0.626		
	情報	2.667	0.570		
生育地	都市	2.549	0.605	0.661	
	農村	2.596	0.566		
	漁村	2.600	0.613		
	山村	2.647	0.540		
地理	海辺	2.595	0.639	0.476	
	海が近い	2.558	0.618		
	内陸	2.619	0.547		
	どちらでもない	2.551	0.542		
船機会	多い	2.638	0.574	2.482	
	少ない	2.571	0.610		
	ほとんどない	2.509	0.596		
乗船経験	2週間以上	2.652	0.554	4.438	*
	経験がある	2.518	0.629		
	経験がない	2.664	0.521		

(*:p<0.05, **:p<0.01)

3.3 進路選択に対する自己効力

進路選択に対する 30 項目からなる自己効力尺度の評点合計値をまとめたものを表 5 に示す。3.2.2.と同様の解析をした結果、性別間においては男性が女性と比較し有意に高い結果となった。コース間においては航海が最も高い結果となり、機関、食品、情報と比較し有意に高い結果となった。生育地間については漁村出身者が最も高く、農村と比較し有意に高かった。船に接する機会間では接する機会が多い順に有意に高い結果となった。

また、職業意識についても就きたい職業が「ある」「なんとなくある」「ない」の順に有意に高い結果となった。このことから、就きたい職業の有無は進路選択に対する自己効力と関係があることが本結果から示唆された。

そのため、職業意識の涵養のためにも、この自己効力の育成を目指した指導が必要であると考えられる。今回の結果では船に接する機会間における F 値が高い結果となっていたことから、船に接する機会を与える教育が自己効力を高める上でその一助となる可能性がある。しかし、乗船実習の経験間において、差異が抽出されなかったことから、どのような指導が自己効力の向上に有益かどうか検討していくことが今後の課題として挙げられる。

表 5 属性ごとの自己効力尺度の評点合計値の回答結果と分散分析結果

		平均	標準偏差	F値	有意水準
全体(1,310)		80.566	14.660		
性別	男性	81.263	14.581	11.663	**
	女性	77.843	14.679		
学年	1学年	80.110	15.405	2.202	
	2学年	79.840	14.493		
	3学年	81.676	14.399		
コース	航海	84.122	13.881	6.104	**
	機関	79.769	15.303		
	食品	79.209	14.199		
	栽培	80.564	15.628		
	情報	78.080	12.565		
生育地	都市	80.270	14.892	4.223	**
	農村	78.555	14.585		
	漁村	82.854	13.704		
	山村	79.774	15.338		
地理	海辺	81.496	14.086	1.117	
	海が近い	80.894	14.300		
	内陸	80.280	14.795		
	どちらでもない	78.411	16.895		
船機会	多い	83.271	15.469	15.746	**
	少ない	80.546	13.338		
	ほとんどない	77.676	14.680		
乗船経験	2週間以上	81.908	14.886	1.873	
	経験がある	80.549	14.385		
	経験がない	79.482	15.113		
職業有無	ある	85.822	14.014	99.957	**
	なんとなくある	77.483	12.107		
	ない	73.811	14.229		

(*:$p<0.05$, **:$p<0.01$)

4. 参考文献

(1) 文部科学省：平成 24 年度学校基本調査, http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/NewList.do?tid=000001011528, 2013.3.11.

(2) 金子光徳：影山昇（編）東京水産大学第 20 回公開講座水産教育と水産学研究, 第 3 章高校水産教育と水産学教育, p.43, 株式会社成山堂書店, 1995.2.

(3) 行平真也・高山久明・清水健一・合田政次：水産高校生の海・船・船員の志向性－実習船を用いた教育に注目して－, 日本航海学会論文集, Vol.126, pp.173-179, 2010.9.

(4) 行平真也・高山久明・清水健一・合田政次：水産高校生の捉える漁業者のイメージ, 日本航海学会論文集, Vol.124, pp.185-192, 2011.3.

(5) Masaya YUKIHIRA, Hisaaki TAKAYAMA, Kenichi SHIMIZU and Masaji GODA ：Study on the Sea, Ship, and Seaman-Orientation of Japanese Fisheries High School Students：Focusing on the Relationship of Student’s Learning Attitudes, Proceeding of Asia Navigation Conference 2011, pp97-104, 2011.11.

(6) 阿濱茂樹・東良典：工業高校の生徒の職業意識に関する研究, 金沢大学教育学部紀要 教育科学編, Vol.55, pp.65-72, 2006.2.

(7) 浦上昌則：学生の進路選択に対する自己効力に関する研究, 名古屋大学教育学部紀要, 教育心理学科, Vol.42, pp.115-126, 1995.12.

(8) A. Bandura：Self-efficacy：Toward a Unifying Theory of Behavioral Change, Psychological Review, Vol.84, No.2, 191-215.1977

船上における食・飲酒習慣問診の試みと事例検討

正会員　福田　直子（東京海洋大学）　正会員○亀山　こころ（華学園栄養専門学校）
正会員　庄司　るり（東京海洋大学）　非会員　芦田　研二（日本無線株式会社）

要旨

船員において、生活習慣病の予防に重要な肥満対策には、職住一体の場である船上の生活習慣の把握が必要と考える。そこで船上にいる船員の健康情報を取得して、通信を経由し陸上に送信し閲覧できる船舶健康管理システムを開発し、それを利用して食・飲酒習慣に関する問診の記録・蓄積を試みた。その結果、肥満のある 3 名の内航船船員の食・飲酒習慣の問題が抽出された。船上における生活習慣の把握に、通信を利用した船舶健康管理システムが役立つ可能性が示唆された。

キーワード：情報処理、労働・人間工学、教育、内航船船員、遠隔健康管理

1. 背景と目的

船上での食習慣の把握は難しい。一般的な食事調査は､聞き取りによる 24 時間思い出し法や対象者に記録してもらう食事記録法、および食物摂取頻度調査法(一定期間中の食品等の摂取頻度を回答させる、いわゆるアンケート調査）等があるが[(1)]、これらの方法を船上の食習慣調査に用いても､24 時間思い出し法では 1 日のみの情報しか得られず、食事記録法では職務を行っている船員には負担が大きすぎ、食物摂取頻度調査では船上生活全体を一括りでしか見ることができない。船上も船員の日常であり、長期間の乗船中には食事、飲酒、間食等の増減が予想され、その変化をとらえ関連要因を調べることによって船員自身も気が付かない食事の傾向や問題点を示すことができるのではないかと考えた。そこで船内において日々の食習慣情報が継続的に得られ、その情報が陸上に転送される問診票システムの作成とその運用を行った。以前我々が開発した船上船員の健康情報を陸上でモニターする遠隔船舶健康管理システム[(2)]を改良し、実際に運航している内航船の乗組員を対象に食習慣調査を行い、肥満者の食習慣の問題点が抽出できるか試みた。

2. 方法

2.1　対象

東北地方から中国地方までの定期航路を運航する船舶で､1～3 日に 1 回以上入港する内航航路商船（約 1000 トン、3 交代制勤務）1 隻の乗組員で、協力の得られた 19 名の者の中から､調査期間中の平均 BMI が 25 以上の 3 名（症例 A､B､C､すべて男性。）を対象とした。なお、BMI とは Body Mass Index のことで、体重(kg)/身長 ^{2}(m)と計算され、25 以上を肥満とする体格指数である。症例 A は 50 歳代､船長、平均 BMI は 25.0 であった。症例 B は 20 歳代、甲板部職員、平均 BMI は 25.2 であった。症例 C は 50 歳代、甲板部部員、平均 BMI は 29.0 であった。3 名とも服薬を必要とする疾患はなかった。

2.2　船員の食・飲酒習慣情報の取得方法

通信を利用して船上の船員の健康管理を行うシステムを改良し、内航船に設置した。健康管理専用のパーソナルコンピュータ（以下、PC）を船内に置き、船員が血圧、体重を測定し、携帯している歩数計をアダプタに置くことによってその計測値が Bluetooth 経由で専用 PC に送信される。また専用 PC には生活習慣に関する問診票も組み入れ、計測の際に、選択肢から選ぶ方式で記入してもらう。それらの健康情報は PC に蓄積され、内航船に搭載されている携帯電話通信を介して、東京海洋大学構内に設置した遠隔医療用サーバに送信されるようにした。1 日 1 回の記録を基本とし、仕事の支障のない範囲での計測、記入を依頼した。食・飲酒習慣の問診は、下記の内容とした。

①前日の食事（以下から 1 つを選択）
・3 食（量：少なめ）
・3 食（量：普通）
・3 食（量：多め）
・欠食あり（食事を抜く）
②前日の間食（以下から 1 つを選択）
・間食（夜食を含む）あり

・間食（夜食を含む）なし
③飲酒（以下から 1 つを選択）
・なし
・日本酒 1 合相当未満
・日本酒 1 合相当以上
以上の問診をできるだけ毎日記録するよう依頼した。

3. 結果

3.1　計測記録

体重の計測は、船のゆれのため値が定まらないことがしばしばあった。対策として、値が定まらない時には計測を中止する、船のゆれが少ないときに測定する、などの注意を行った。そのため測定頻度は減ったが、推移の把握はできた。3 名とも測定時刻はほぼ午前だったが、ときに正午前後になることがあった。BMI は、症例 A で微増傾向が見られ、症例 B では変動はあるものの横ばい、症例 C では一時減少傾向が見られたが元の体重に戻っていた。歩数は症例 A が 4200±2360 歩（平均±標準偏差、以下同様）、症例 B が 4447±2851 歩、症例 C が 7872±4221 歩であった。

3.2　船上の食・飲酒習慣

図 1 に 3 症例の運航分類別の食事量と欠食の有無、図 2 に運航分類別の間食の有無、図 3 に運航分類別の飲酒の有無と飲酒量を示した。症例 A は調査期間中の乗船日数は 78 日、問診記録日数は 70 日であった。過食の日が全記録日数の 20%に見られた（図 1）。間食/夜食はなかったが（図 2）、飲酒は 97.1%あった（図 3）。症例 B は乗船日数 63 日で、問診記録日数 38 日であった。過食はないが欠食が 47.4%あり（図 1）、間食/夜食も 13.2%あった（図 2）。飲酒は 92.1%に見られ、23.7%は 1 合以上の飲酒であった（図 3）。症例 C は乗船日数 105 日で、問診記録日数 43 日であった。食事はすべて 3 食普通量を摂っているが（図 1）、3 名の中では間食/夜食の頻度が高かった(31.0%)（図 2）。また他の 2 名と同様、飲酒はほぼ全記録に見られ(97.7%)、1 合以上の飲酒の頻度も 37.2%と比較的高かった（図 3）。

また事前に、ふだんの陸上生活における食習慣についてのアンケート記入を依頼し、症例 A と症例 C から回収した。症例 A は、普段から過食（食べ過ぎること）が週に 5～6 食あるが、間食・欠食はせず、毎日日本酒 1 合～2 合相当のアルコールを摂取していた。また症例 C は、過食は週に 1～2 食で、間食は毎日 1 回、欠食は週に 2～3 回であった。飲酒は週に 1～2 日で、飲酒量は日本酒 1 合相当であった。

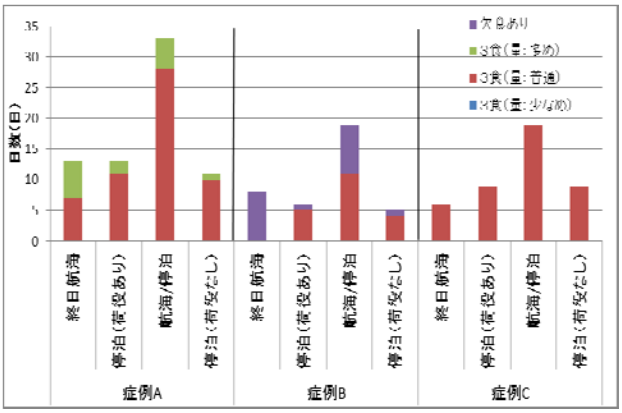


図 1 運航分類別の食事量と欠食の日数

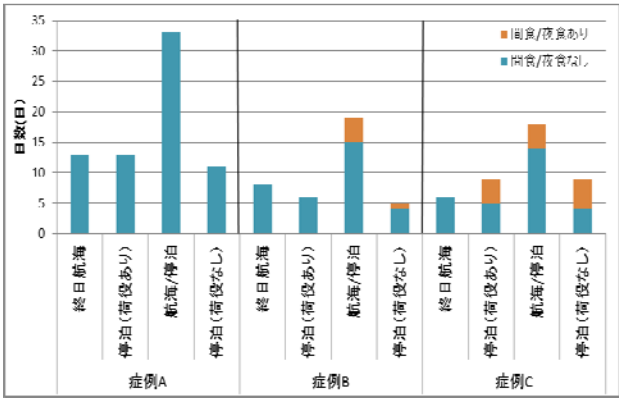


図 2 運航分類別の間食の日数

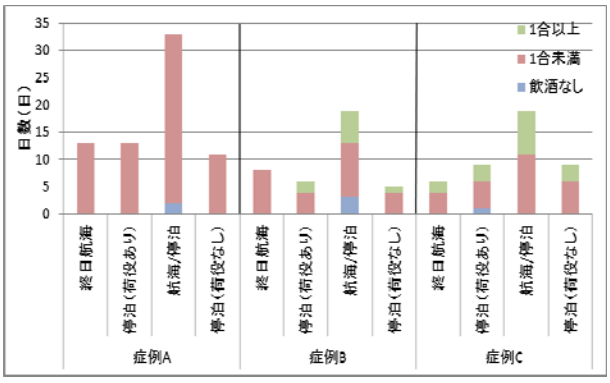


図 3　運航分類別の飲酒の日数

4. 考察

内航船船員の肥満者 3 名の船上における食習慣の情報を、遠隔船舶健康管理システムで記録した。栄養指導の現場において、食習慣の把握は、問診や自己記録に頼る方法が主体である[1]。すなわち患者の記憶、あるいは患者自身が記録した情報をもとに指導を行うが、記憶はあいまいで不正確な可能性があ

り、患者自身の記録も継続は難しいと思われる。今回利用したシステムは、船内で体重等を計測するだけで専用 PC に記録されるため入力の手間がかからない。その上問診票を選択メニュー式にしたため、計測と同時に問診票記入を行っても短時間で済んだ。この利便性が食・飲酒習慣に関する情報を継続的に得ることができた一因と考える。得られた情報は対象者各人の食習慣の特徴を表し、そのため個々の食習慣の問題点を抽出できた。症例 A では過食、症例 B では欠食と間食/夜食、症例 C では間食が工夫すべき改善点であり、3 名に共通する飲酒の常態化も体重管理の課題であろう。また陸上の食・飲酒習慣との比較では、症例 A のように陸上の習慣がそのまま続いている例、症例 C のように陸上生活ではあまり飲酒をしないのに船上生活では飲酒が常態化している例が見られた。以前行った学生の調査[(3)]では、間食や飲酒への意識が船上の方が陸上生活より健康的であったが、検討した内航船船員ではそれは見られなかった。学生と実際の船員との間で、船上と陸上の食態度や食意識の違いに、差がある可能性が示された。船員の肥満予防を目的とした栄養指導は個別の問題点を把握することが出発点となるが、遠隔船舶健康管理システムで取得された船上問診記録がその問題把握に役立つことが示された。

5. 参考文献

(1) 佐々木敏:わかりやすい EBN と栄養疫学, p.110, 同文書院, 2005.

(2) 福田直子・庄司るり・亀山こころ・芦田研二：船上の健康管理を目的とした遠隔医療の実験, 日本航海学会論文集, Vol. 125, pp. 241−247, 2011.

(3) 亀山こころ・福田直子・庄司るり・大津皓平：船上と陸上における学生の主観に基づく食習慣の比較, 日本航海学会論文集, Vol.124, pp.177-182, 2011.

東北地方太平洋沖地震津波来襲時のアフラマックスタンカ ー係留避泊に関する一考察

正会員　○榊原　繁樹（横浜ゴム）　非会員　阿部　郁男（富士常葉大学）
正会員　　津金　正典（東海大学）　正会員　久保　雅義（大島商船高等専門学校）

要旨
東北地方太平洋沖地震津波の来襲に対して係留避泊に成功したアフラマックスタンカーについて、当時乗船されていた方へのヒアリング調査により船体および海面状況を把握・整理した。合わせて津波および船体動揺シミュレーションによる再現シミュレーションおよび係留力と船体動揺量に関する検討により、係留避泊できた要因を見出すと共に津波係留対策案を模索する。
キーワード：港湾・係留、津波、船体運動、係留避泊、津波対策

1. 研究目的

著者らは東北地方太平洋沖地震津波来襲に伴い被災したＳ港原油桟橋で荷役・係留中であったVLCCを対象として、津波および船体動揺シミュレーションを行なうと共に、船長レポートに記載された事項やAISによる実測船体位置データと照合することにより、急激な押し波と本船推進力の発動などにより大きな船体動揺が誘発され、合わせて係留索巻き出しによる弛緩と緊張の繰り返しさらに切断、および防舷材に過圧縮が生じる船長・乗組員の方々が遭遇した過酷でかつ危険な船舶の係留状況を定量的に把握することを試みた(1)。東北地方太平洋沿岸の他の港でも多数の大型船舶の被災実態が報告(2)されている一方で、Ｏ港では大型原油タンカーが係留避泊に成功して本船の流出を免れたことが報告されている。

そこで本研究では、Ｏ港で当該地震津波来襲時に係留避泊に成功したアフラマックスタンカー(10 万トン級原油タンカー)の船体および海面状況について、当時乗船されていた方へのヒアリング調査を行い、係留避泊できた状況の把握、さらには係留避泊できた原因について津波および船体動揺シミュレーションを行なって検討した。

2. 研究内容

図１に津波来襲時の当該アフラマックスタンカー(Lpp=235m, B=42m,d=9.17m, W=73,613ton)の係留状況を示す。津波および船体動揺シミュレーションは地震発生時から第 2 波来襲時までの 14:46～16:46(7200s) 間を行なった。ヒアリング調査および津波シミュレーション結果を参照して、船体動揺の再現シミュレーションを行い、ヒアリング調査での船体運動および津波状況と照合した。そして係留避泊を行なうことができた原因を見出すための一検討として、津波高さが再現計算で用いた津波高さに対して変化させた場合(津波高さを0.6倍, 0.8倍, 1.0倍および 1.2 倍）および係留索の初期張力を 0ton, 5ton, 10ton, 15ton, 20ton（再現計算では 20ton 一律）と変化させた場合の船体動揺シミュレーションを行い、係留限界となる津波外力および係留索の初期張力の影響について検討した。合わせて津波対策の模索として、地震発生時に船尾スプリングライン１本（L11）が切断したことから 15 本係留で船体動揺の再現シミュレーション等を行なったが、係留索が当初の 16 本係留であった場合の初期張力および津波高さの船体動揺量等への影響を調べた。

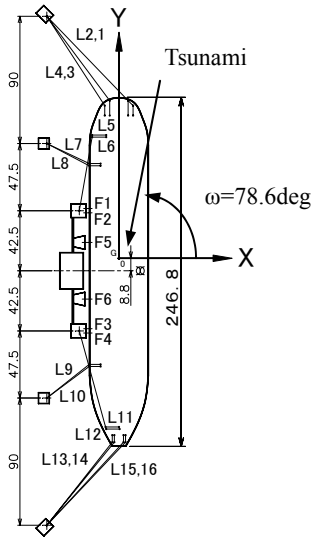


図１　地震津波来襲時のアフラマックス係留図

3. 主要な結論

(1) 図 2 に当該ドルフィン前面における津波の水位変動および流速の時系列計算結果を示す。津波の水位変動、東西および南北流速の最大・最小値はそれぞれ+3.5m (押し波)、-2.9m (引き波)、 +0.9m/s (東流)、-0.9m/s (西流) および+0.6m/s (北流)、-0.9m/s (南流) を得た。図 3 に船体動揺の再現シミュレーション結果の一部を示す。ヒアリング調査結果にある 15:30 に津波第 1 波が来襲して津波高さ約 3.5m が 10 分間ほど継続したこと、および前方からの流れにより船体が動揺して係留索が巻き出し、合わせて船首ブレストライン 1 本(L7)が切断したことなどが概ね再現される結果を得た。

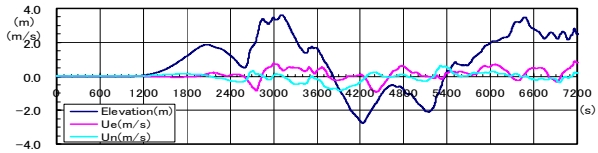


図 2　当該ドルフィン前面における津波の水位変動および流速計算結果(2011 年 3 月 11 日 14:46-16:46)

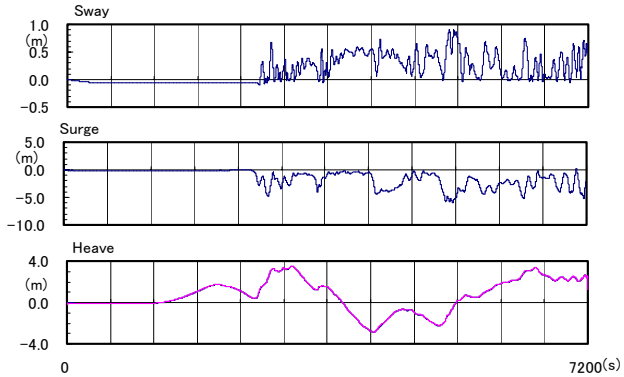


図 3　船体動揺の再現シミュレーション結果

(2) 初期張力を 0ton, 5ton, 10ton, 15ton, 20ton と固定して津波高さを 0.6 倍, 0.8 倍, 1.0 倍, 1.2 倍と変化させた場合、および津波高さを固定して初期張力を変化させた場合の船体動揺量等の変化をまとめた。一例として図 4 および図 5 に時系列シミュレーション内で発生した Surge の最大・最小値を示すが、初期張力が 5ton 以下の場合、津波高さ比 1.0(津波高さ 3.5m 相当)では既に係留限界に達し、一方初期張力が 10ton 以上の場合でも、津波高さ比 1.2(津波高さ 4.2m 相当)となると係留限界に達することがわかった。当該バースに来襲した地震津波の津波高さが 3.5m 程度であったことおよび津波来襲前に係留索の巻き締めを行なったことが係留避泊を成功させた一因であることがわかってきた。

(3) 初期張力および津波高さの影響について係留索本数を 16 本とした場合の船体動揺量等の変化をまとめた。一例として図 6, 7 に津波高さおよび初期張力の影響をまとめる。16 本係留にして初期張力を 20ton とすることで、津波高さ比 1.2(津波高さ 4.2m 相当)まで係留避泊限界を向上させられる可能性が見出せた。これは津波第 1 波の波力に対して初期張力を十分確保し、かつ Surge 係留力の船首尾方向不均一を是正して対称な船舶係留となることに起因するものと考えられる。

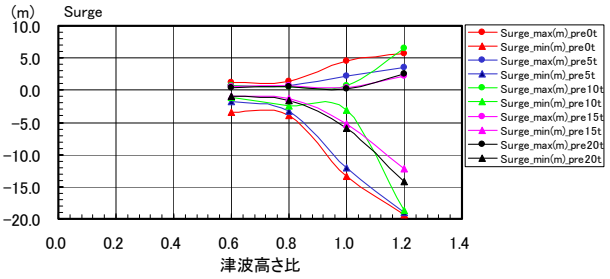


図 4　津波高さによる船体動揺量(Surge)の変化

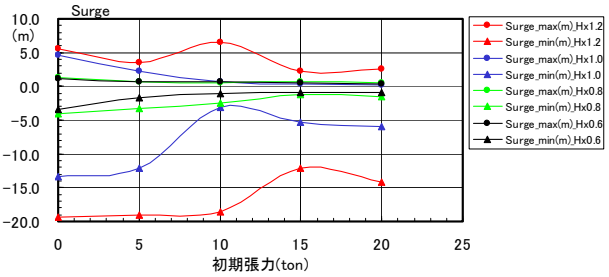


図 5　初期張力による船体動揺量(Surge)の変化

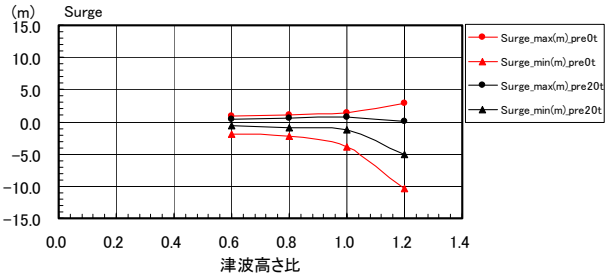


図 6　津波高さによる船体動揺量(Surge)の変化
(16 本係留)

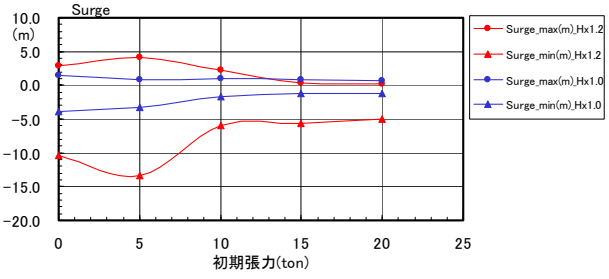


図 7　初期張力による船体動揺量(Surge)の変化
(16 本係留)

4. 参考文献

(1) 榊原繁樹・阿部郁男・津金正典・久保雅義：東北地方太平洋沖地震津波来襲時の係留 VLCC の挙動再現について，日本航海学会論文集，第127 号，pp.57-68，2012.

(2) (社)日本海難防止協会：海と安全（2011 夏），No.549，2011.5.

津波来襲時における岸壁に係留された船舶の防災・減災対策に関する研究（その 2）

正会員○増田　光弘（東京海洋大学）　正会員　南　清和（東京海洋大学）
非会員　増田　光一（日本大学）

要旨

本研究は、岸壁に係留された船舶の津波対策について検討し、津波に対する防災・減災対策を提案することによって津波来襲時の岸壁係留船舶の防災・減災対策に寄与することを目的としている。前報では、3,000DWT の船舶を対象として津波の入射角度の違いが係留索の破断に与える影響および、増しもやいによる津波対策の有効性について粒子法の一種である MPS 法を用いて検討を行った。本報では、大きさの異なる船舶の係留索の破断および岸壁への乗り揚がりなどについて検討を行うとともに、被害低減のための対策について検討を行った。それにより、岸壁に係留された船舶の津波対策は増しもやいのような比較的ローコストな対策だけではなく、津波対策用岸壁のようなハイコストな津波対策も必要になるであろうことがわかった。

キーワード：港湾・係留、津波、係留船舶、MPS 法

1. 序論

津波来襲時、荷役作業中の船舶や船員不在の船舶、津波に対する知識の乏しい外国船などは、岸壁に係留されたまま、係留索の破断に伴う岸壁への乗り揚がりや漂流、他船や陸域の建築物との衝突といった被害に備えなければならない。そのため、津波来襲時の岸壁係留船舶の被害を予測するとともに、防災・減災対策を検討することは非常に重要である。

著者ら[1)]は増しもやいによる津波対策に着目し、これまで研究を行ってきた。前報[1)]では、3,000DWT の船舶を対象に粒子法の一種である MPS 法を用いて、津波の入射角度の違いが係留索の破断に与える影響について、著者らの考案した係留索破断チャートや増しもやいによる津波対策法を用いて検討を行った。

本報では、大きさの異なる船舶の係留索の破断および岸壁への乗り揚がりといった被害について検討を行うとともに、被害低減のための対策について検討および考察を行った。

2. 数値シミュレーション手法

本研究では、粒子法の一種である MPS 法（Moving Particle Semi-implicit Method)を用いて検討を行った。MPS 法は、越塚ら[2)]によって開発された粒子法である。本研究で用いる MPS 法プログラムは著者らが独自に作成したものであり、水槽実験や理論解との比較によって計算精度の検証を行い、その適用性は確認されている。[3)]具体的な離散化および各モデル化については越塚らの論文[2)]および著者らの論文[1),3)]に詳細が記載されているため割愛する。

3. 数値シミュレーション概要

500DWT～10,000DWT のコンテナ船を対象として検討を行った。ここでは 500DWT と 10,000DWT の船舶について述べる。500DWT の船舶は垂線間長さ 40.0m、幅 7.0m、深さ 6.0m、喫水は 3.0m とした。10,000DWT の船舶は垂線間長さ 131.0m、幅 19.0m、深さ 16.0m、喫水は 7.0m とした。両船舶は、ヘッドライン Line 1 およびスターンライン Line 4、フォアスプリング Line 2 およびアフトスプリング Line 3、フォアブレストライン Line 5、アフトブレストライン Line 6 によって係留されているとした。10,000DWT の船舶は船体中央にブレストライン Line 7 を追加した。初期係留索本数は、Line 1、Line 4 を 4 本ずつ、Line 2、Line 3、Line 5、Line 6、Line 7 を 2 本ずつとした。係留索は、それぞれの本数分の破断荷重もしくは破断時伸び率 50%を超えた時点で破断するように設定した。増しもやい対策についての検討では、係留索の破断が確認された場合、それぞれに一本ずつ係留索を増やしていった。水深は 10.0m とし、岸壁高さは 12.0m とした。模擬津波には孤立波を用いた。孤立波は波高 2.0m～12.0m まで 1.0m 刻みでシミュレーションを行った。孤立波の入射角度は船首尾方向に対して 0 度、90 度の 2 ケースとした。計算解像度を決定する粒子間距離は 1.0m とした。

4. 主要な結論

主要な結論の一部を示す。Fig. 1～Fig. 3 は数値シミュレーション結果を用いて作成した津波高と水平流速に対する初期係留状態での係留索の破断チャートである。Fig. 1 は 500DWT の船舶の係留索破断チャートであり、Fig. 3 は 10,000DWT の船舶の係留索破断チャートである。比較のため、3,000DWT の船舶の係留索破断チャートを Fig. 2 に示す。白のエリアは係留索の破断がない係留索安全エリア、ピンクのエリアは一部の係留索が破断する可能性がある係留索危険エリア、赤のエリアはすべての係留索が破断する係留索破断エリアである。また、係留索の破断にかかわらず岸壁に乗り揚げたケースを●印，岸壁に乗り揚げなかったケースを○印で示した。

Fig. 1～Fig. 3 から、船舶の大きさごとに係留索の破断の状況に大きな違いがあることがわかる。ここには載せていないが、Fig. 1 の 500DWT の船舶の場合､津波高 6.0m を超えると各係留索に増しもやい対策を施しても係留索の破断を防ぐことが困難であるという結果が得られている。また、津波高 5.0m の場合、増しもやい対策を施すと係留索の破断を防ぐことはできるが船舶の乗り揚がりを防ぐことはできないという結果も得られている。Fig. 3 の 10,000DWT の船舶の場合、津波高 8.0m 以下であれば係留索の破断も岸壁への乗り揚がりも起こらないということが確認できる。しかし、津波高 10.0m を超えると係留索が破断しなくても岸壁に乗り揚がってしまう。ただし、10,000DWT の船舶は倍以上の本数の増しもやい対策を施すことによって岸壁の乗り揚がりを防ぐことができることが確認できているが、現実的な津波対策とはいえないと考えられる。

本研究から、前報[1)]でも確認したとおり、岸壁係留船舶の係留索の破断や岸壁への乗り揚がりは増しもやいのような対策だけでは不十分であり、浮桟橋のような津波対策用岸壁の設置などの対策を検討していく必要があることがわかった。

5. 参考文献

(1) 増田光弘・南清和・増田光一：津波来襲時における岸壁に係留された船舶の防災・減災対策に関する研究(その 1)，日本航海学会論文集，128 号，2013.（掲載決定）

(2) Seiichi KOSHIZUKA, Atsushi NODA and Yoshiaki OKA: Numerical Analysis of Breaking Waves Using the Moving Particle Semi-inplicit Method, Int. J. Numer. Mech. Fluids, 26, pp. 751-769, 1998.

(3) 増田光弘・庄司邦昭・南清和・増田光一：MPS 法を用いた津波中の浮体による衝突力に関する研究，日本航海学会論文集，124 号，pp. 329-336，2010.

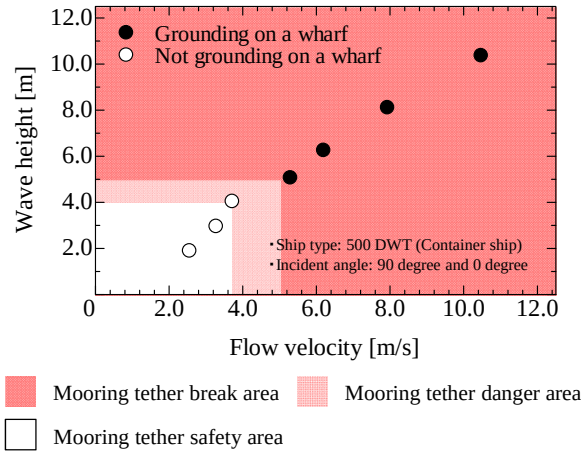


Fig. 1 Chart of mooring tether break (500DWT)

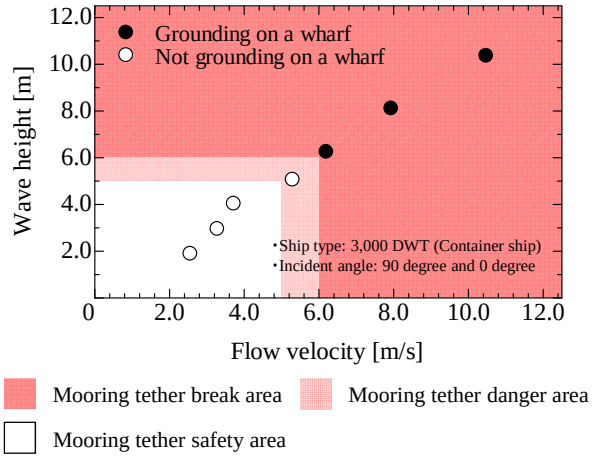


Fig. 2 Chart of mooring tether break (3,000DWT)

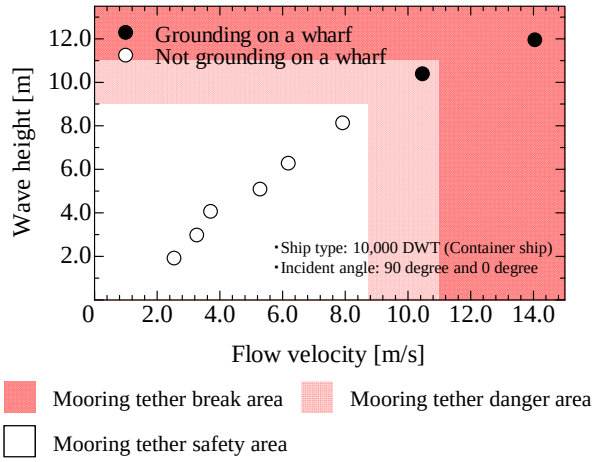


Fig. 3 Chart of mooring tether break (10,000DWT)

係留浮体の波浪中応答解析に対するMPS法の適用性に関する研究（第二報）

学生会員○笹原　裕太郎（東京海洋大学）　正会員　増田　光弘（東京海洋大学）
正会員　南　清和（東京海洋大学）　非会員　増田　光一　（日本大学）

要旨

本論文は矩形浮体に作用する 2 次元波漂流力の解析に対する MPS 法の適用性について述べたものである。従来の MPS 法では粒子の圧力振動や入射波の波形保存性が低く解析の精度に問題があった。そこで本研究では、これら 2 つの問題点の解決を図るために既存の MPS 法プログラムに対してアルゴリズムの改良を行った。本報では、改良型および従来型 MPS 法シミュレーションによる係留浮体の係留索張力応答特性を比較・検討した結果、解析精度の向上が示され MPS 法を用いた係留索張力応答解析の妥当性を示すことができた。

キーワード：海洋工学、粒子法、MPS 法、浮体、係留索張力

1. はじめに

近年、海洋開発の需要が高まっている。外洋上での海洋開発に際しては係留された浮体式構造物を海洋開発プラットフォームとして用いることが有用であると考えられるが、厳しい気象海象環境下に置かれる係留浮体の波浪中応答は非常に複雑なものになると想定される。しかし、非線形な現象を線形理論や水槽実験だけで検討するのは難しいため、海洋開発プラットフォームの開発においては適切な数値計算手法を用いる必要がある。

MPS(Moving Particle Simulation)法は Koshizuka et al.[(1)]によって開発された粒子法であり、砕波や越波といった非線形性が強い現象や浮体と流体との連成問題に対する解析に適した手法である。これまで MPS 法による波浪中における浮体応答解析は末吉[(2)]らや柴田[(3)]らよって示されてきたが、係留された浮体の応答については十分に適用性が示されていない。著者ら[(4)]は前報において、粒子間に非線形ばね条件を付加した係留モデルを用いて、係留された矩形浮体に対する規則波中応答について水槽実験との比較・検討を行った。その結果、MPS 法の係留索張力応答解析に対する MPS 法の適用可能性を示すことができたが、粒子の圧力振動や入射波高の減衰といった問題も確認された。

そこで本報では、上述したような問題を解決するために既存の MPS 法プログラムコードを改良し、その計算精度について検討することにより、係留浮体の波浪中応答解析に対する MPS 法の適用性を明確にすることを目的とする。そのために、圧力振動の低減と入射波の波高減衰を抑えるためのアルゴリズムを導入した。

2. MPS 法

2.1 MPS 法の概要

MPS 法の支配方程式は Navier-Stokes 方程式および連続の式であり、それぞれ式(1)および(2)に示す。

$$\frac{D\vec{u}}{Dt} = -\frac{1}{\rho}\nabla p + \nu\nabla^2\vec{u} + \vec{g} \tag{1}$$

$$\frac{D\rho}{Dt} = 0 \tag{2}$$

ここで、$\vec{u}$ は速度ベクトル、t は時間、ρ は密度、P は圧力、ν は動粘性係数、$\vec{g}$ は重力加速度である。

MPS 法では微分演算子を、粒子間相互作用モデルを用いて離散化する。ある粒子 i が位置ベクトル $\vec{r}_i$ および物理量 ϕ_i および任意のベクトル $\vec{\psi}_i$ を保持しているとき、式(3)、式(4)および式(5)にそれぞれ勾配、発散、ラプラシアンを示す。

$$\langle \nabla \phi \rangle_i = \frac{d}{n^0} \sum_{j \neq i} \left[\frac{\phi_j - \phi_i}{\left| \vec{r}_j - \vec{r}_i \right|^2} (\vec{r}_j - \vec{r}_i) w\left(\left| \vec{r}_j - \vec{r}_i \right| \right) \right] \quad (2)$$

$$\langle \nabla \cdot \vec{\phi} \rangle_i = \frac{d}{n^0} \sum_{j \neq i} \left[\frac{(\vec{\psi}_j - \vec{\psi}_i) \cdot (\vec{r}_j - \vec{r}_i)}{\left| \vec{r}_j - \vec{r}_i \right|^2} w\left(\left| \vec{r}_j - \vec{r}_i \right| \right) \right] \quad (3)$$

$$\langle \nabla \phi \rangle^2{}_i = \frac{2d}{n^0 \lambda} \sum_{j \neq i} \left[(\phi_j - \phi_i) w\left(\left| \vec{r}_j - \vec{r}_i \right| \right) \right] \quad (4)$$

ここで d は次元数、w は重み関数、n^0 は初期粒子数密度である。λ は変数分布の分散を解析解と一致させるための係数である。

2.2 係留索モデル

本研究で用いる MPS 法は半陰的アルゴリズムである。まず式(1)の圧力項以外を陽的に解き、その後非圧縮条件を満たすように圧力項を陰的に解く。

従来の MPS 法における非圧縮条件は粒子数密度が n^0 であるという条件を用いている。この条件から式(5)に示すような圧力Pに関するポアソン方程式が得られる。

$$\nabla^2 P = \frac{\rho}{dt^2} \frac{n^0 - n^*}{n^0} \quad (5)$$

ここで、n^*は圧力項以外を計算した後の仮の粒子数密度、dt は時間ステップである。

本研究における浮体の係留状態の表現には著者ら[4]の開発した係留モデルを用いる。これは浮体モデルの係留点と係留索の基点との 2 点間に係留状態を模擬した拘束条件を設定する手法である。本研究では、非線形ばね条件を仮定し、その際に生じる係留力 F_r を圧力勾配による速度修正の際に係留点粒子の運動方程式に付加することで表される。本研究ではこの拘束条件に非線形ばね条件を適用する。式(6)に非線形ばね条件を、式(7)に係留粒子 i に対する運動方程式をそれぞれ示す。

$$F_r = k(r + \beta r^3) \quad (6)$$

$$\frac{D\vec{u}_i^{'}}{Dt} = -\frac{1}{\rho_0} \nabla P_i + \frac{F_r}{m_i} \quad (7)$$

ここで、k はばね定数、r は係留点間の距離、β は係数であり本研究では経験的に 2.3 を用いる。また $\vec{u}_i^{'}$ は速度ベクトルの修正量、∇P_i は陰的アルゴリズムにより得られた圧力勾配、m_i は係留する物体を構成する 1 つの粒子 i の質量であり、ρ_0 は密度の一定値である。なお、本係留モデルでは、ばねの材質および種類は考慮していない。

2.3 圧力振動低減モデル

圧力振動の原因は、主に式(5)に示す圧力のポアソン方程式の右辺の粒子配置が不規則になることで時間的および空間的に大きく振動することである。本研究では新井[5]の非圧縮条件に粒子数密度一定と速度の発散がゼロの条件を組み合わせた手法を用いる。新井の手法による圧力のポアソン方程式を式(8)に示す。

$$\nabla^2 P = \alpha \left(\frac{\rho}{dt^2} \frac{n^0 - n^*}{n^0} \right) + (1 - \alpha) \frac{\rho}{dt} \nabla \cdot \vec{u}_i^* \quad (8)$$

ここで $\alpha(1 \leqq \alpha \leqq 0)$は安定化のための係数であり、本研究では経験的に 0.2 を用いる。

2.4 進行波波高減衰低減モデル

進行波の波高減衰は MPS 法の勾配モデルが任意の時刻において近傍の粒子が均等に存在していることを仮定しているため、自由表面付近で数値誤差が大きくなるためであると考えられる。本研究ではこの問題に対して入部ら[6]の提案した式(9)に示されるような近傍の粒子配置に依存しない高精度勾配モデルを用いる。

$$\langle \nabla \phi_i \rangle = \left[\frac{1}{n^0} \sum_{j \neq i} w\left(\left| \vec{r}_{ij} \right| \right) \frac{\vec{r}_{ij}}{\left| \vec{r}_{ij} \right|} \otimes \frac{\vec{r}_{ij}}{\left| \vec{r}_{ij} \right|} \right]^{-1} \left(\frac{1}{n^0} \sum_{j \neq i} \left[(\phi_j - \phi_i) \frac{\vec{r}_{ij}}{\left| \vec{r}_{ij} \right|^2} w\left(\vec{r}_{ij} \right) \right] \right) \quad (9)$$

ここで、⊗ はテンソル積を表す。なお式(9)の右辺の逆行列は、近傍粒子がどの方向にも均等に存在する場合には行列式がゼロになる。それを防ぐために従来の手法と同じく次元数 d を与える。

3. 数値計算

3.1 計算モデルおよび計算条件

本研究ではばね係留された矩形浮体の規則波中応答を解析対象とし、従来 MPS 法と改良 MPS 法に対して浮体にかかる係留索張力および浮体前端位置での入射波波高について、解析精度の比較を行う。

Fig.1 に本研究における数値シミュレーションで用いた数値水槽モデルを、Table 1 に計算条件をそれぞれ示す。本計算モデルは著者ら[4]の行った比較実験を再現しており、造波方法にはピストン式の造波境界を用いた。浮体モデルは造波板から 2.5m の位置に設置し、前後 2 点を長さ 0.11m の引張ばねで初期張力を与えるために 0.17m に伸ばした状態で水平方向に係留する条件を与えた。Fig.2 に係留モデルの諸元を示す。

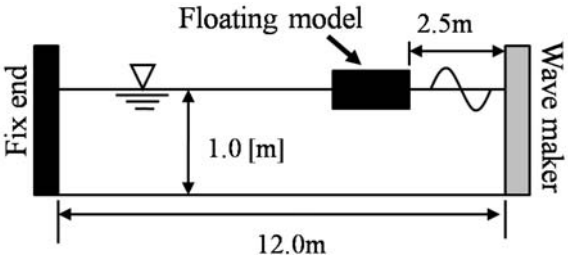


Fig.1 Calculation 2D tank model

Table 1 Calculation conditions

Particle numbers	125,829
Particle distance [m]	0.01
Time step [sec]	$5.0*10^{-4}$
Simulation time [sec]	15.0
Kinematic viscosity [m^2/sec]	$8.9*10^{-6}$
Wave height [m]	0.06, 0.08, 0.10
Wave period [sec]	0.9, 1.0, 1.1
Length of floating model [m]	1.56
Depth of floating model [m]	0.2
Draft of floating model [m]	0.04
Spring length [m]	0.11
Spring constant [N/m]	127.5

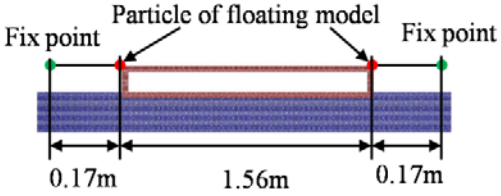


Fig.2 Mooring system

3.2 計算結果

結果の一部を示す。ここでは入射波条件を波高 0.08m、波周期 1.0sec としたときの結果を示す。Fig.3 に入射波の時系列波形を Fig.4 に係留索張力の時系列波形をそれぞれ示す。また Fig.5 に入射波の周波数応答および Fig.6 に係留索張力の周波数応答をそれぞれ示す。なお周波数応答解析にはそれぞれのデータの定常成分を用いた。

Fig.3、Fig.4 より、入射波形および係留索張力について、改良した MPS 法による計算結果は従来の MPS 法による計算結果と比べて大幅に解析精度を向上させていることがわかり、水槽実験結果と比較しても定常的に良好な一致を見せていることがわかる。Fig.3 より入射波形について従来の MPS 法計算時に見られた粒子の圧力振動による定常的な水位変動は改良した MPS 法では全く見られないことが確認できる。過渡応答時にわずかに実験結果と誤差が見られるがこれは数値計算と水槽実験における造波方法の違いが影響していると考えられる。水槽実験に用いた造波板はその振幅が造波開始後から徐々に大きくなっていくが、本 MPS 法プログラムにはそのアルゴリズムは取り入れていない。また、Fig.4 より係留索張力応答について従来の MPS 法で見られた過渡応答時の張力の急激な減少や定常状態における誤差は改良した MPS 法では入射波形の精度向上により改善されていることがわかる。なお定常状態である 9.0sec 以降の計算結果と実験結果との誤差は浮体と造波板の間に生じた定在波の影響が考えられる。改良した MPS 法においても実験と比較して定在波の再現性が低いという結果が得られており、今後更なる波形保存性の精度向上を検討する必要がある。

Fig.5、Fig.6 から入射波および係留索張力の定常状態における周波数応答についても改良した MPS 法は従来 MPS 法と比べて解析精度を上げ、低周波数帯から高周波数帯にかけて水槽実験で得られた結果と良好な一致を示していることが確認できる。

Fig.5 の入射波における周波数応答から改良 MPS 法では高周波数帯に関して実験結果と比べてノイズが大きくなっていることがわかる。これは、空間解像度に影響する粒子間距離が 0.01m と比較的大きいためであると考えられる。自由表面形状は粒子座標で検出しているため粒子間距離が大きいと滑らかな自由表面形状を表現しにくい。しかしながら空間解像度を高くすると粒子数が急激に増加し計算コストが大幅に増加するといった問題がある。ただし、本

研究においては波高に対して波長および浮体が十分に大きく、この問題の影響は小さいと考えられるため、粒子間距離 0.01m であっても十分な解像度を持っているといえる。また、Fig.6 の係留索張力の周波数応答から改良 MPS 法と実験結果を比較すると、角周波数 3.0rad/sec 付近および 20.0rad/sec 付近に誤差が見られる。これは入射波の誤差要因と同様に、定在波の再現精度が十分でないためであると考えられる。しかしながら入射波に対する浮体応答の精度は向上しており、このことから本研究におけるアルゴリズム改良による解析精度の向上を確認できたといえ、本係留モデルの適用性についてもその妥当性を再確認することができた。

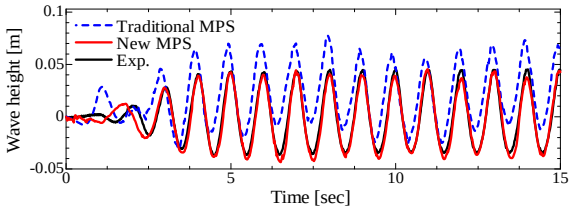


Fig.3　Comparison of time history of wave height

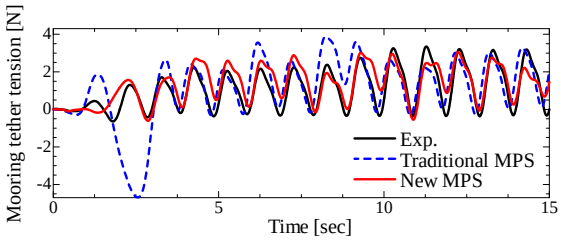


Fig.4　Comparison of time history of mooring tether tension

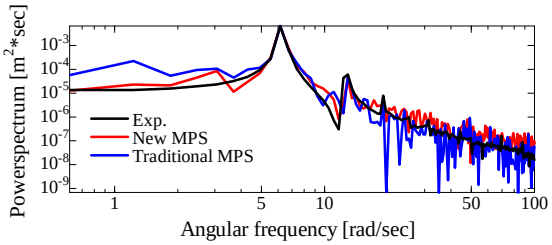


Fig.5　Comparison of spectra of wave height

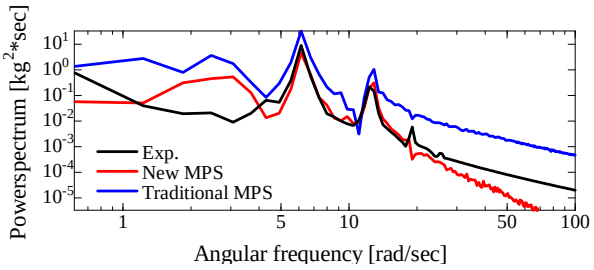


Fig.6　Comparison of spectra of mooring tether tension

4. 結言

本研究によって、以下のような知見を得た。

(1) 従来 MPS 法の問題点を解決するために新井や入部らの手法を用いて MPS 法アルゴリズムの改良を行い、改良 MPS 法による流体 - 剛体連成解析に対する解析精度の向上を明らかにすることができた。

(2) 著者らの提案した係留モデルを改良 MPS 法に適用させ、従来 MPS 法との比較を行った結果、本係留モデルは浮体応答を精度よくシミュレーションできることがわかった。

今後はより定在波といった波の合成を精度良く再現するためのアルゴリズム、および浮体運動のアルゴリズムの見直しを検討していく必要がある。

5. 参考文献

(1) Seiichi KOSHIZUKA, Atsushi NODA and Yoshiaki OKA : Numerical Analysis of Breaking Waves Using the Moving Particle Semi-implicit Method, Int.J.Numer.Mech.Fluid, 26, pp.751-769, 1998.

(2) 末吉誠・内藤林：粒子法による強非線形流体現象の研究(その 3)水平と浮体運動の数値シミュレーション, 関西造船協会論文集, 239, pp.81-86, 2003.3.

(3) 柴田和也・越塚誠一・谷澤克治：船体の強制運動を伴う海水打ち込み粒子法による 3 次元数値解析，日本船舶海洋工学会講演会論文集，1，pp.59-60，2005.1.

(4) 増田光弘・笹原裕太郎・南清和・増田光一：係留浮体の波浪中央東海積に対する MPS 法の適用性に関する研究，日本航海学会論文集，127，pp.51-56，2012.9.

(5) 新井淳：船首周りにおける水面挙動の数値解析手法に関する研究，日本船舶海洋工学会講演会論文集，12，2011S-G5-24，2011.5.

(6) 入部綱清・仲座栄三：MPS 方における勾配計算の高精度化とその応用，土木学会論文集 B2(海岸工学)，Vo.66，No.1，pp.46-50，2010.

船舶群行動モデルを用いた 単方向および双方向航路の交通流特性

学生会員　○王　涛（東京海洋大学）　　学生会員　黄　文君（東京海洋大学）
正会員　稲石　正明（東京海洋大学）

要旨

交通流の視点から航路設計を見直すために、船舶間の相互作用に基づく交通流シミュレーションによって航路航行特性を明らかにする。自律型の船舶群行動モデルを用いて単方向航路と双方向航路の交通流シミュレーションを行い、両者の交通流特性を群行動エネルギおよび船舶と船舶の異常接近の発生位置を用いて比較した。得られた主な知見を以下に示す。

（1）航路の屈曲角が 60° 以上になると、群行動エネルギの変化傾向に違いが表れる。

（2）航路への進入または進出経路数が 2 以上であれば、交通量の増加とともに平均群行動エネルギは増加し、その傾向は、経路数が多いほど大きな値を示した。

（3）単方向航路では航路出口付近でニアミスが発生しやすいが、双方向航路における同航船同士のニアミスは、航路西方および東方領域で発生し、特に航路入り口付近での発生が多い傾向がある。また、双方向航路における反航船同士のニアミスは、航路から離れた海域で発生する傾向がある。

キーワード：海上交通工学、航路、航路航行、交通流シミュレーション、群行動

１．はじめに

現行の航路計画基準[1]は、主として船舶の大きさと運動性能から設定されているため、交通流の視点から航路計画基準等の検討が十分になされているとはいえない。交通流の視点から航路設計を見直すには、船舶間の相互作用に基づく交通流シミュレーションによる航行特性を明らかにする必要がある。単方向航路の航行特性については報告[2]があるが、浦賀水道航路のような双方向航路についての報告はない。

本研究の目的は、自律型の船舶群行動モデルを用いて単方向航路と双方向航路の交通流シミュレーションを行い、両者の交通流特性を群行動エネルギ[3]および船舶と船舶の異常接近の発生位置を用いて比較する。そして、得られた交通流特性から航路計画に必要な基礎的な知見を得ることである。

２．シミュレーションモデル

航路航行のシミュレーションモデルを Fig.1 に示す。航路航行に影響を及ぼすと考えられる航路形状（航路長、航路幅、屈曲角）と交通流様式（入口と出口の経路数、アプローチ距離、出口助走距離）を変化させることができるように航路モデルを設定した。航路は、航路長 L_1[M]の第一航路と航路長 L_2[M]の第二航路から構成され、任意の角度で屈曲させることができる。シミュレーション領域は、航路西方領域、航路および航路東方領域の三つの領域から成る。航路西方および東方領域は、それぞれ目的地に向かう集散区間、航路に進入するためのアプローチ区間および助走区間の三つの区間から構成される。集散区間は中心角 θ=30～90 [deg]、半径 R=70［M］の扇形とした。アプローチ区間は、アプローチ距離 L_a で規定される領域で、図中の a 点から b 点または f 点から h 点までの間の区間である。助走区間は、助走距離 L_r で規定される区間で、図中の j 点から k 点または d 点から e 点までの間の区間である。

船舶エージェント[2]は設定した交通量 TV[ship/hr]を満たすように、乱数を用いてランダムに発生させる。また、乱数を用いて各船舶エージェントの航海計画に相当する、西方経路（西方経路数 W_w=1～11）および東方経路（東方経路数 W_e=1～11）を決定する。船舶エージェントは、発生点（集散区間の扇形の円弧上）から設定された経路を他の船舶エージェントと互いに影響されながら進み、アプローチ区間、航路内、助走区間を経て、集散区間の経路を進み、消滅点を目指す。

船舶エージェントの設定船速は 12 ノットで、その他の群行動モデルのパラメータ値は、東京湾の海

上交通流シミュレーション[4),5)]と同じとした。全ての船舶エージェントは、発生点から航路に入るまでの間、同じ船舶集団に属しているものとして群行動をする。航路を出てからは、設定針路が同じ船舶で群行動を行うので、目的地が異なる船舶に対しては衝突回避行動を取る。

単方向航路のシミュレーションを行うときは、航路東方領域の船舶の発生を停止し、航路西方領域から航路東方領域にだけ航行するように設定した。時間駆動型のシミュレーション時間間隔は１分に設定した。初期設定の影響を排除するために、4 日後のシミュレーション結果を用いて解析を行った。

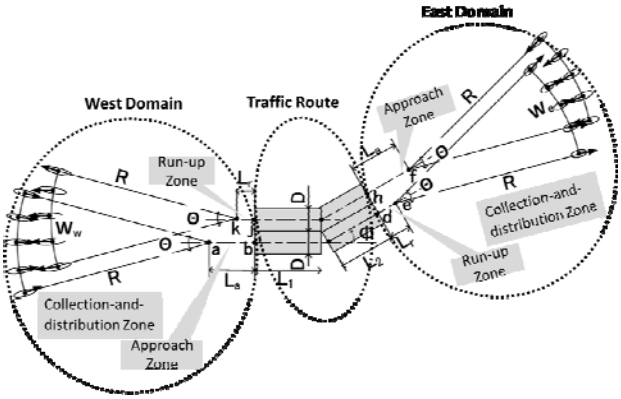


Fig.1 Schematic diagram of Simulation Model

３．シミュレーション結果および考察

3.1　航路長

群行動エネルギに及ぼす直線航路（屈曲角 φ=0）の航路長の影響を Fig.2 に示す。縦軸は航路内の平均群行動エネルギ E_R [M/ship]で、横軸は直線航路の長さ L_1+L_2[M]である。シミュレーション条件は、図中に示すように、交通量 TV=20[ship/hr]、経路数は W_w=9、W_e =9、航路幅 D=0. 8[M]、アプローチ距離 L_a=7[M]、助走距離 L_r=0. 4[M]である。図中の■印は単方向航路を、□印は双方向航路の値を示す。

航路を通過するのに必要な群行動エネルギ E_R は、航路長 L_1+L_2 が長くなるにつれて増加するが、単方向航路に比べて双方向航路の増加割合が約 16％高い。これは、双方向航路の場合、航路に進入する前に対向する船舶と遭遇し、航路に進入する前に同航する船舶間の位置関係を整えておくことが難しく、航路で位置調整を行うことによるものと考えられる。

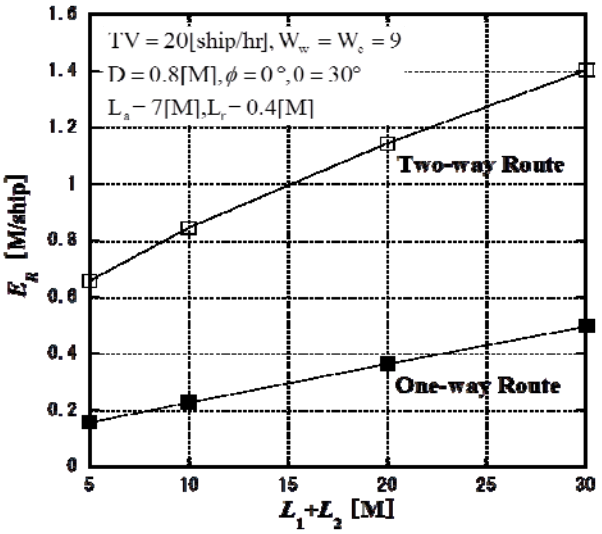


Fig.2 Effect of the Route Distance in the Route Field

3.2　航路幅

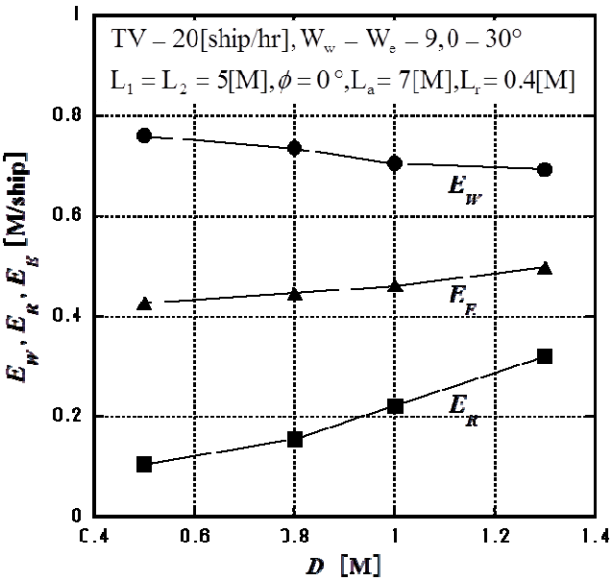
群行動エネルギに及ぼす直線航路（屈曲角 φ=0）の航路幅の影響を Fig.3 に示す。Fig.3(a)は単方向航路、Fig.3(b)は双方向航路の結果を示す。縦軸の E_W、E_R、E_E は、それぞれ航路西方領域、航路、航路東方領域の平均群行動エネルギで、横軸は航路幅 D である。

単方向航路の場合、Fig.3(a)に示すように、航路から進出する航路東方領域の平均群行動エネルギ E_E に比べて航路に進入する航路西方領域の E_W が高い値を示す。これは、航路西方領域のアプローチ区間で他船との距離を確保するための進路変更頻度が高いことによる。一方、航路東方領域では航路での群行動により船舶間距離の確保が進み、助走区間を経て比較的広い海域で進路変更を行うため、他船との距離の確保が容易であることによる。航路幅 D の増加と共に、E_W（●印）はわずかに減少し、E_E（▲印）はわずかに増加する。E_W の減少傾向は、航路幅が広くなると航路への進入が容易になるためである。E_R（■印）での増加傾向は、航路幅が広くなるにつれて、群形成の際に航路境界からの制約が小さくなり、船舶エージェント間の相互作用が大きくなることによる。

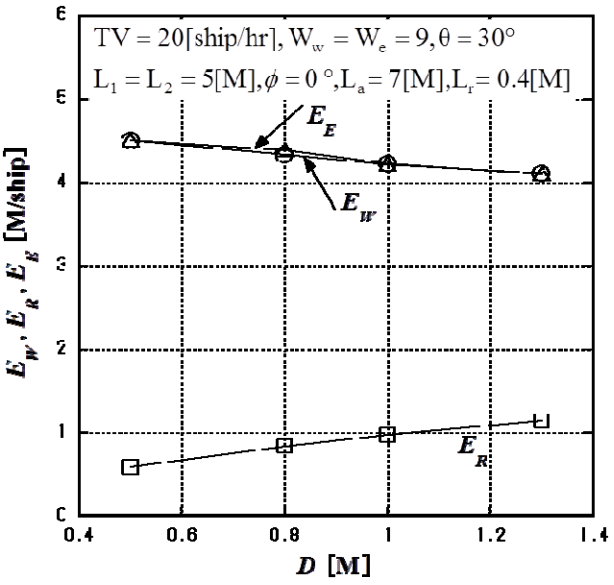
双方向航路の場合、Fig.3(b)に示すように、平均群行動エネルギ E_W（○印）と E_E（△印）の値がほぼ一致し、航路幅 D の増加と共にわずかに減少する。E_R（□印）は、単方向航路と同様、航路幅の増加と共に増加する。また、単方向航路と比べて双方向航路の群行動エネルギの値が高く、船舶間の相互作用が強く作用していることがわかる。

3.3　屈曲角

群行動エネルギに及ぼす屈曲角 φ の影響を、航路長（L_1+L_2）をパラメータにして、縦軸に屈曲後の航路内の平均群行動エネルギ E_D を、横軸に屈曲角 φ

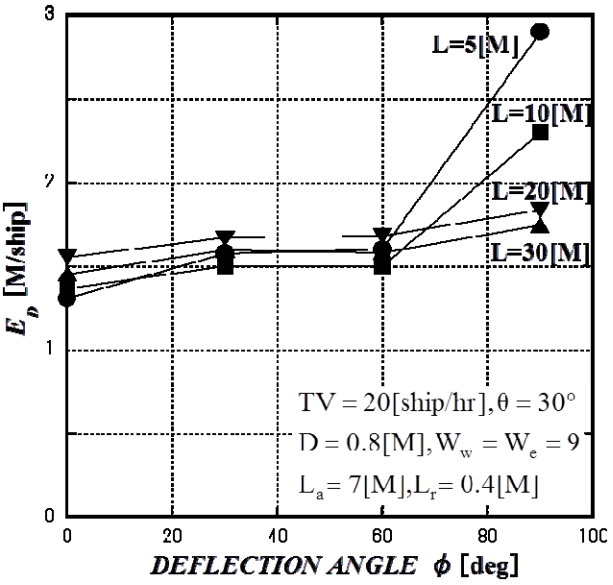


(a) One-way Route

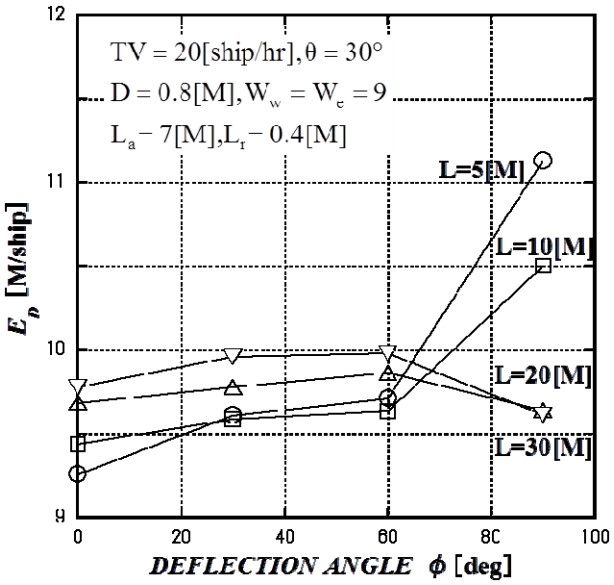


(b) Two-way Route

Fig.3 Effect of the Route Width



(a) One-way Route



(b) Two-way Route

Fig.4 Effect of the Route Deflection Angle

を取って Fig.4 に示す。

単方向航路の場合、Fig.4(a)に示すように、屈曲角 φ が 60° 以下では航路長の影響が少なく、φ が 60° より大きく、航路長が短いと平均群行動エネルギ E_D の値が大きく上昇する。

双方向航路の場合、Fig.4(b)に示すように、屈曲角 φ が 60° 以下では、単方向航路と比較して航路長の影響が僅かにある。φ が 60° より大きくなると、航路長が短い場合は、単方向航路と同様、平均群行動エネルギ E_D の値が大きく上昇するが、航路長が長い場合は、E_D の値が減少する傾向がある。

3.4 交通量と経路数

双方向の直線航路における交通量 TV[ship/hr]と群行動エネルギ E_A[M/ship]の関係を、経路数 W をパラメータにして Fig.5 に示す。縦軸の E_A は、シミュレーション領域全体での群行動エネルギの平均値である。また、航路西方領域と航路東方領域における経路数は同じとした。

経路数が 2 以上の場合、交通量の増加とともに平均群行動エネルギは増加し、経路数が多いほど大きな値を示した。経路数 W=1 の場合、交通量 TV が 10 程度であれば他船からの影響を受けることなく航行できるが、TV>20 では他船との相互作用が働くよう

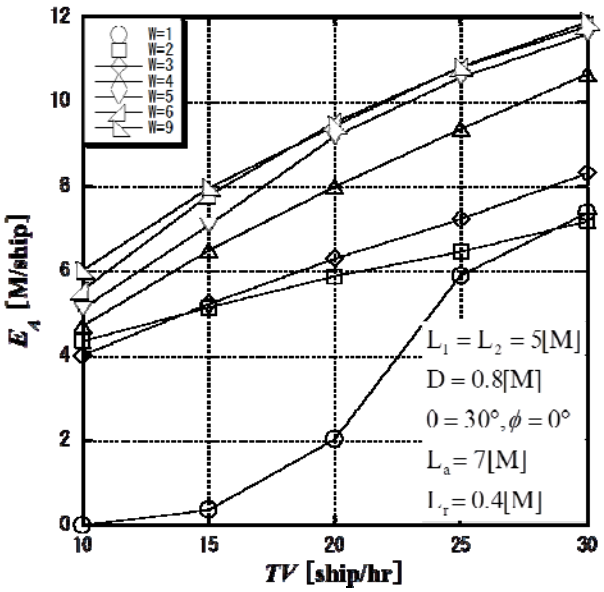
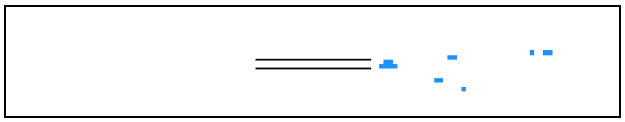
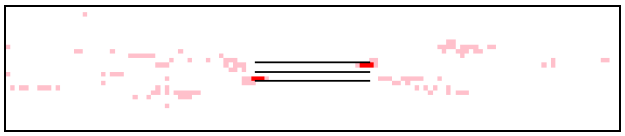


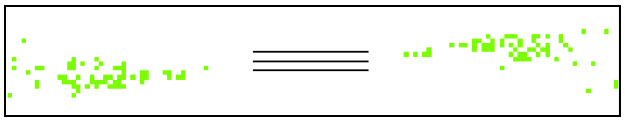
Fig.5 Effect of the Number of Ways



(a) One-way Route



(b) Two-way Route, Vessel on the Same Course



(c) Two-way Route, Vessel on the Opposite Course

Fig.6 Near-Miss Map

になり、TV＞25 以上では経路数が W=2 の結果とほぼ同じ値を示した。

3.5 ニアミス

単方向航路におけるニアミスの発生分布図および双方向航路における同航船と反航船のニアミス発生分布図（交通量 TV=20[ship/hr]、経路数 W=9）を Fig.6 に示す。本研究では、船舶間距離が 50[m]以下の時にニアミス発生と定義した。

Fig.6(a)の単方向航路（西方から東方への同航船のみ）の場合、航路出口でニアミスが発生する。双方向航路の場合、同航船のニアミス（Fig.6(b)）は、航路西方および東方領域で発生し、特に航路入り口付近での発生が多い。また、双方向航路の反航船のニアミス（Fig.6(c)）は、航路から離れた海域で発生している。双方向航路の場合、航路進入時に航路から出てくる反航船との遭遇によって、船舶エージェントは航路の右側に偏る傾向があり、航路入口でニアミスが起こりやすい。

4. おわりに

自律型の船舶群行動モデルを用いて単方向航路と双方向航路の交通流シミュレーションを行い、両者の交通流特性の比較を行った。得られた主な知見を以下に示す。

(1) 単方向航路の場合、平均群行動エネルギは航路から進出する航路東方領域に比べて航路に進入する航路西方領域の値が高い。

(2) 双方向航路の平均群行動エネルギは、単方向航路よりも高い値を示す。航路西方領域と航路東方領域では、航路幅の増加と共にわずかに減少するが、航路では航路幅の増加と共に増加する。

(3) 屈曲角が 60° 以上になると、群行動エネルギの変化傾向に違いが見られた。

(4) 経路数が 2 以上であれば、交通量の増加とともに平均群行動エネルギは増加し、その傾向は、経路数が多いほど大きな値を示した。

(5) 単方向航路では航路出口付近でニアミスが発生しやすいが、双方向航路における同航船同士のニアミスは、航路西方および東方領域で発生し、特に航路入り口付近での発生が多い。双方向航路における反航船同士のニアミスは、航路から離れた海域で発生する傾向がある。

参考文献

(1) (社)日本航海学会規格委員会、国土交通省国土技術政策総合研究所港湾研究部：次世代の航路計画基準(2004)、2004.

(2) 稲石正明、近藤逸人、川口明：船舶エージェントの群行動に及ぼす航路形状の影響、日本航海学会論文集、No.121、pp.49-54、2009.

(3) 稲石正明、趙　小禺、潘　明陽、近藤逸人：非協調行動船舶の船舶群行動に及ぼす影響、日本航海学会論文集、No. 117、pp. 43-48、2007.

(4) 稲石正明、近藤逸人、近藤正樹、川口明：船舶エージェント群による海上交通流シミュレーション－東京湾の北航交通流－、日本航海学会論文集、No. 115、pp.11－16、2006.

(5) 稲石正明、近藤逸人、近藤正樹、川口明：船舶エージェントによる東京湾海上交通流シミュレーション、日本航海学会論文集、No. 116、pp.45－51、2007.

Trip Distribution Modeling in Tokyo Bay based on AIS Data

Student Member ○El-Hocine Tasseda (TUMSAT[1])
Member Ruri Shoji (TUMSAT)

Abstract

In traffic modeling[(1)(2)(3)], a model is often assembled to simulate vessel streams within a designated traffic analysis zone, hereafter referred to as TAZ, such as harbors and straits. The traffic model usually consists of sub-models concerned respectively with traffic generation, and trip distribution[(4)].

In this paper, the underlying behavior and distribution of ships navigating from an Origin TAZ to a Destination TAZ are analyzed to assess the parameters behind the destination attribution based on the amount of the generated traffic at the origin. Then, the uncertainty associated and randomness with the traffic movements is estimated based on the concept of Entropy [(5)].

Keywords: trip distribution, traffic modeling, entropy, traffic simulation.

1. Introduction

Trip distribution analysis is the process by which ships sailing from one TAZ to another TAZ are analyzed. The trip distribution model is used to distribute the generated traffic from an Origin TAZ to a Destination TAZ. Compared to land traffic trip distribution analysis where many models are developed based on traffic purpose, route, and costs related to every destination, maritime traffic is constrained by the choice of the route, the destination based on vessel type and cargo type, and above all, the capacity of the TAZ.

2. Analysis Data

Tokyo Bay historical AIS data collected from the TUMSAT Advanced Navigation System, covering a period from the 11th of November 2011 to the 20th of November 2011, is used for this analysis.

3. Analysis Areas

Tokyo Bay, with its 1320 km^2, is selected as an analysis area. There are eight port areas in Tokyo Bay namely: Yokosuka Port, Yokohama Port, Kawasaki Port, Tokyo Port, Funabashi Port, Chiba Port, Anegasaki Port, and Kisarazu Port as shown in Fig. 1(a). Based on the port limits introduced above, nine TAZs are determined for this analysis as shown in Fig. 1(b).

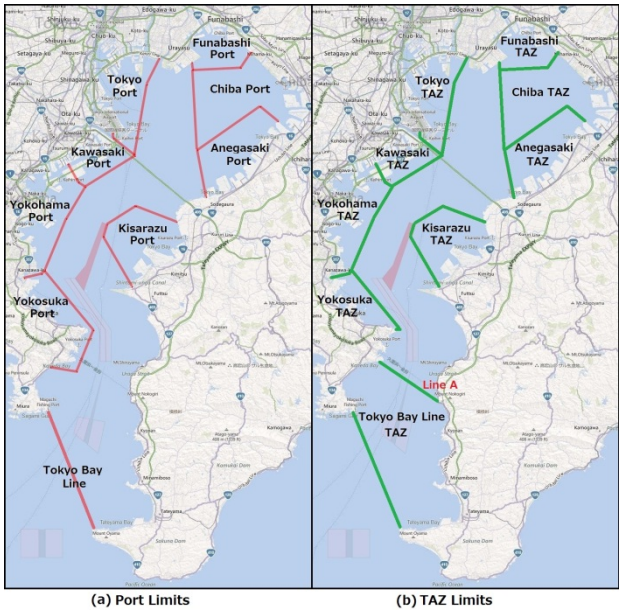


Fig. 1 Illustration of Tokyo Bay Ports and Traffic Analysis Zones (TAZ) Limits

The defined TAZs are as follows:

1. Tokyo Bay Line TAZ: Area between the Tokyo Bay Line and Line “A”;
2. Yokosuka TAZ: Northern area of Yokosuka Port. The southern part is excluded from the analysis because of the ferry traffic and traffic around the Uraga Pilot Station which do not have any relevance to this analysis.
3. Yokohama TAZ: Area delimited by Yokohama

[1] TUMSAT: Tokyo University of Marine Science and Technology

Port;

4. Kawasaki TAZ: Area delimited by Kawasaki Port;
5. Tokyo TAZ: Area delimited by Tokyo Port;
6. Funabashi TAZ: Area delimited by Funabashi Port;
7. Chiba Port TAZ: Area delimited by Chiba Port;
8. Anegasaki TAZ: Area delimited by Anegasaki Port; and,
9. Kisarazu TAZ: Area delimited by Kisarazu Port.

4. Research Method

AIS destination data is one of the dynamic data that every ship should update after departure. All ships sailing into a port or in the vicinity of its boundary for the purpose of entering the port to which the Act on Port Regulation applies should enter the destination code designating the destination port in the column for information on destination as summarized in Table 1.

Table 1 AIS Codes for Tokyo Bay Port Destinations

Port	AIS Destination code	Port	AIS Destination code
Yokosuka Port	JP YOS	Funabashi Port	JP FNB
Yokohama Port	JP YOK	Chiba Port	JP CHB
Kawasaki Port	JP KWS	Anegasaki Port	JP ANE
Tokyo Port	JP TYO	Kisarazu Port	JP KZU

Following the above, port destination data is extracted from the AIS data. Unfortunately, the data is not accurate and the rate of non-compliance with the entry method is high. In addition, AIS data does not include the origin port necessary for our analysis. Due to this, it has been concluded that the AIS data is not suitable for extracting destinations and origins.

5. Tracking Algorithm

To solve the destination and origin issues described previously, an algorithm is developed to extract the Origin TAZ and Destination TAZ data from the ships' tracks. The algorithm is built on the assumption that every ship sailing in Tokyo Bay has a start position where the ship appears on data screen, and an end position where the ship lays still in the water after berthing or anchoring. The algorithm tracks every ship sailing from one TAZ to another, and excludes any other ship that is not provided with an Origin TAZ and/or Destination TAZ. Fig. 2 shows the result of some trip analysis carried out for the AIS data on the 11th of November 2011. The red pushpins indicated the Origin TAZ, while the green pushpins indicate the Destination TAZ.

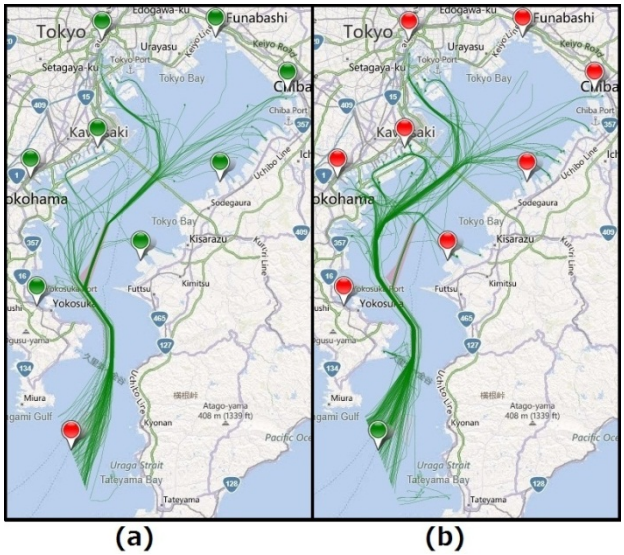


Fig. 2 Illustration of the Origins and Destinations Tracking Algorithm

6. Trip Distribution Model

Assuming S is the number of ships calling the analyzed area and N is the number of traffic analysis zones, ships departing from TAZ_i are indexed as A_i with a probability u_i, and ships arriving at TAZ_j are indexed as B_j with a probability v_j. Ships sailing from TAZ_i to TAZ_j are represented by f_{ij} with a trip probability ρ_{ij}.

$$\sum_j \mathbf{f_{ij}} = \mathbf{A_i} \qquad (1)$$

$$\sum_i \mathbf{f_{ij}} = \mathbf{B_j} \qquad (2)$$

$$\sum_j \mathbf{B_j} = \sum_i \mathbf{A_i} = \mathbf{S} \qquad (3)$$

As for the probability of happening, it is defined as:

$$\begin{cases} \boldsymbol{\rho_{ij}} = \frac{\mathbf{f_{ij}}}{\mathbf{S}} \\ \mathbf{u_i} = \frac{\mathbf{A_i}}{\mathbf{S}} \\ \mathbf{v_i} = \frac{\mathbf{B_j}}{\mathbf{S}} \end{cases} \qquad (4)$$

where:

$$\begin{cases} \sum_i \mathbf{u_i} = \sum_i \mathbf{v_i} = \sum_{ij} \boldsymbol{\rho_{ij}} = \mathbf{1} \\ \mathbf{0} \le \boldsymbol{\rho_{ij}} \le \mathbf{1} \end{cases} \qquad (5)$$

Table 2 Trip Distribution Model Table

i \ *j*		*Destination TAZ*						
		1	***2***	**.**	***j***	**.**	***N***	$\sum TAZ_j$
Origin TAZ	***1***	ρ_{11}	ρ_{12}	.	ρ_{1j}	.	ρ_{1N}	u_1
	2	ρ_{21}	ρ_{22}	.	ρ_{2j}	.	ρ_{2N}	u_2
	.	.	.	.	.	.	.	.
	i	ρ_{i1}	ρ_{i2}	.	ρ_{ij}	.	ρ_{iN}	u_i
	.	.	.	.	.	.	.	.
	N	ρ_{N1}	ρ_{N2}	.	ρ_{Nj}	.	ρ_{NN}	u_N
	$\sum TAZ_i$	v_1	v_2	.	v_j	.	v_N	1

The uncertainty on the destination and origin can be reduced provided that the constraints imposed on every TAZ are known beforehand, such as the type of ships allowed, the maximum allowable dimensions, and allowable type of cargo. Unfortunately such information is not available, and so the uncertainty associated with the traffic movements is estimated based on the concept of Entropy. The Entropy *H* is defined as the uncertainty associated with the traffic distribution with in a specific area, and it is related to the probability distribution of generated trips between the origin and destination. For the above mentioned trip distribution model, the Entropy *H* is defined as:

$$\mathbf{H} = -\sum_{ij} \boldsymbol{\rho}_{ij} \ln(\boldsymbol{\rho}_{ij}) \qquad (6)$$

where:

$$\begin{cases} \boldsymbol{\rho}_{ij} = 0 \Rightarrow \mathbf{H} = 0 \\ \boldsymbol{\rho}_{ij} = 1 \Rightarrow \mathbf{H} = 0 \\ 0 \leq \boldsymbol{\rho}_{ij} \leq 1 \Rightarrow \mathbf{H} > 0 \end{cases} \qquad (7)$$

Entropy *H* is generally thought of as a metric of a system's state of disorder as the higher a system's entropy is, the more disordered the system is. And generally systems tend to move toward higher entropy values-- at which system stabilization is sought.

7. Results

Analysis results show that traffic originating from TAZ_i towards a destination TAZ_j where $i=j$ accounts for a trip probability $\rho = 0.34868$. Fig. 3 shows two similar cases for Yokohama TAZ and Tokyo TAZ. The traffic between same TAZs is attributable to service boats, leisure passenger ships and the like.

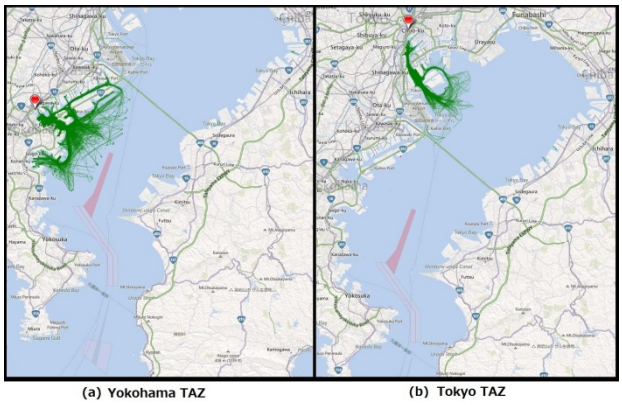


Fig. 3 Illustration of Same TAZ Trips (Yokohama TAZ and Tokyo TAZ)

Traffic trip distribution with a constraint, excluding trips within the TAZs, shows the conservation of traffic for every Origin and Destination TAZ respectively. In addition to trip combinations excluded by the constraint, 13 trip combinations are confirmed with certainty to be improbable.

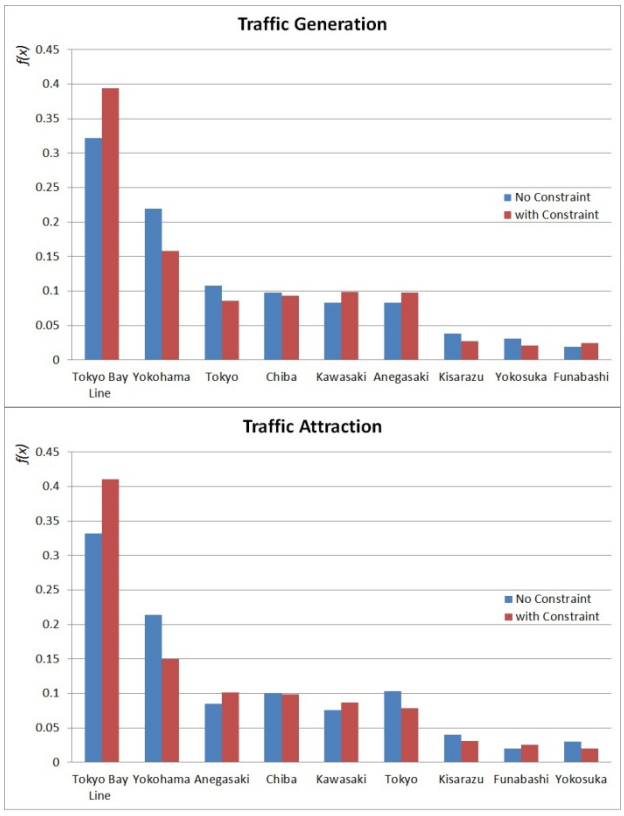


Fig. 4 Illustration of Traffic Generation and Attraction Distributions

Fig. 4 shows that the most attractive port is Yokohama Port and it alone generates and attracts more that 20% of traffic without constraint, and around 15% of traffic with constraint, of the total traffic in Tokyo Bay. Furthermore, the results show that around 70% of traffic without

constraint, and around 60% of traffic with constraint, originated from within Tokyo Bay.

8. Conclusion

This paper introduces a review of the Trip Distribution theory and its fundamentals. The Trip Distribution theory is then used to model vessel traffic streams navigating between different TAZs in Tokyo Bay based on AIS data.

In addition to the origin port which is not provided within the AIS data, a data review also reveals that the destination port provided within the AIS data is not accurate and the AIS data entry non-compliance rate is high. Therefore, to solve the destination and origin issues, an algorithm is developed to extract the Origin TAZ and Destination TAZ data from historical ships' tracks. The algorithm tracks all ships sailing from one TAZ to another, and excludes any other ship that is not provided with an Origin TAZ and/or a Destination TAZ.

The results of the Trip Distributions analysis show that the traffic is conserved between every Origin and Destination TAZ respectively. In addition to trip combinations excluded by the constraint, 13 trip combinations are negated with certainty. In addition, the results also show that the most attractive port is Yokohama Port and it alone generates and receives more that 20% of traffic without constraint, and around 15% of traffic with constraint; of the total traffic in Tokyo Bay. Furthermore, the results show that around 70% of traffic without constraint, and around 60% of traffic with constraint; is originating from within Tokyo Bay.

The results of this paper provides an effective tool for evaluating the distribution of vessel traffic streams loads and appraising the level of disorder caused in Tokyo Bay. Furthermore, the model formalizes the trip distribution into a matrix that can be used as a metric for traffic generation and evaluating the fluctuation in traffic and/or TAZ traffic load assignment. Nevertheless, further research is needed to assess the traffic within the same TAZ by breaking-down every TAZ into Sub-TAZs.

9. References

1. Hasegawa, K. et al.: Intelligent Marine Traffic Simulator for Congested Waterways, Proceedings 7th IEEE International Conference on Methods and Models in Automation and Robotics, pp. 632-636, 2001.8.
2. Hasegawa, K.: Knowledge-based automatic navigation system for harbour manoeuvring, Proceedings of Tenth Ship Control Systems Symposium, pp.67-90, 1993.
3. Hasegawa, K.: An intelligent marine traffic evaluation system for harbour and waterway designs, Proceedings of 4th International Symposium on Marine Engineering Kobe '90 (ISME KOBE '90), pp.G-1-7-14, 1990.
4. R. Kar , S. K. Mazumder: Entropy and utility based trip distribution model, African Journal of Mathematics and Computer Science Research Vol. 4(12), pp. 375-378, 2011.11
5. S. Christodoulou, K. Lukas, A. Borrmann: Entropy-Based Traffic Impact Analysis and Optimization of Roadway Maintenance, Proceedings of the 14th International Conference on Computing in Civil and Building Engineering, Moscow, Russia, 2012.

DEVELOPMENT AND SIMULATOR TESTING OF A DECISION-SUPPORT SYSTEM FOR STS OPERATIONS

Dagfinn Husjord (University of Tromsø, Department of Engineering Science and Safety, Norway)
Egil Pedersen (University of Tromsø, Department of Engineering Science and Safety, Norway)

Abstract

As part of the ongoing development of a navigation support and guidance system for ship-to-ship operations, interviews and a questionnaire survey among ship officers in charge of lightering operations with crude oil tankers has revealed what kind of information that is required to improve the decision-making process during the approach between two vessels that aim to get alongside with forward speed in open waters. Graphical user interfaces (GUIs) tailored for the typical approach phases in ship-to-ship operations have been proposed, developed and tested on experienced ship officers in a full-mission ship-handling simulator to assess the potential for enhancing operational safety. To evaluate the operational improvement of the decision support system (DSS) a deeper test in a realistic lightering operation in a simulator wave been carried out.

Keywords: Information Support Navigation Instruments STS Lightering Decision-support Display.

1. INTRODUCTION

A ship-to-ship, STS, lightering operation typically involves two tankers maneuvering in close proximity, at a speed range of 4-6 knots, in order to come alongside and commence cargo transfer. This is a challenging task for the officer in charge of the operation, the mooring master, whose decision-making process during the approach is commonly based on radar measurements until the vessels are approx. 0.1 n.mil apart. The final approach phase is carried out using visual observations only. In an STS lightering operation, the Captains are, as always, in charge of their respective ships. However, it is industry standard to have a mooring master on board the maneuvering ship, acting as a Pilot and advising the Captain and his crew on how to navigate and maneuver. Experienced and trained officers are needed to minimize the risk of miscommunication between the ships, [1].

In a normal STS lightering operation at open sea, one ship is required to maintain speed and course, and is referred to as the Ship to be Lightered (STBL). The Service Ship (SS), will approach until it is parallel with the STBL before commencing the final approach phase, which is to maneuver until the ships are moored and transfer of cargo can commence, Figure 1, [2].

Figure 1: The approach phase of a lightering operation.

A user survey among European and US mooring masters has revealed potential improvement to the overall safety in such operations. Real-time information about distances between the two vessels and their relative movement, when presented graphically in an understandable way and relayed to the decision-maker on the bridge, could speed up the decision-making process, [3].

2. DESIGN AND DEVELOPMENT OF THE DECISION SUPPORT SYSTEM, DSS

The mooring masters, as end-users, have been involved in the design of the Decision Support System, DSS, and given feedback and comments especially on the user interface. It has been a conscious choice to place

the user at the centre of the design in a natural operational environment in a navigation simulator. Affords have been made to simplify the structure of the user interface and not overload the short-term memory with information. In the development of the graphical user interfaces (GUIs), questionnaires, interactive interviews, and various graphical proposals for information parameters were discussed with several groups of experienced mooring masters. The mooring master is on the bridge wing in the final decisive phase. An immobile device inside the bridge will be inaccessible, but a hand-held device can communicate the information needed. Relative speeds, distances and the angle between the two vessels are parameters mooring masters use as references in their decision-making process. This information is considered to be key parameters in the process. Different paper prototype displays and mock-ups, presenting this key information in a simple way were further integrated and tested in a simulator setting, [4]

2.1. THE DSS

The Master PC processes data collected from GPS and AIS sensors, or in this case from the simulator. The size of both vessels and the positions of their GPS antenna must be entered into the Master PC before start up. The portable Tablet-PC receives data wirelessly from the Master PC and presents the result as GUIs, Figure 2.

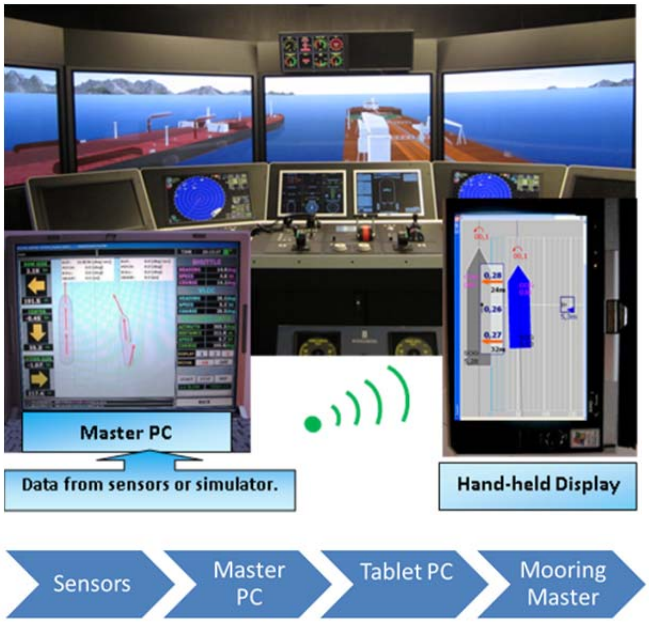


Figure 2: System structure with wireless connection.

3. TESTING THE DECISION-SUPPORT SYSTEM

After several tests and iterations different screenshots of the GUI's were programed on the Tablet-PC, Figure 3, [*4*]. When the vessels are very close the longitudinal distance between the hose connection-points are visualized with a square box containing a grey and a blue triangle.

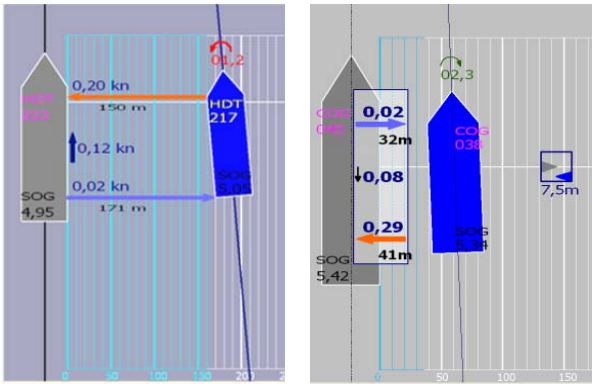


Figure 3: The GUI, vessels getting close to landing.

The next step in the development of the DSS for STS operations is to validate the system. To see if the performance and the safety is improved. Tests are performed at in the simulator center at University of Tromsø. The test group is divided in two and half of this group will use normal standard decision making artefacts as radar, gyro and Doppler log together with visual observation, called the STD test group. The other part, the DSS test group, will use only the DSS observing the GUI on the Tablet PC and used this information in the decision making to adjust the propulsion and the course of the Service Ship. The whole group will be screened so test subjects with the same skills and experience will be compared. To clarify the appropriate setup for this test and to establish possible parameters to compare, a pilot test wave been conducted. In this pilot the test subjects were two officers with approximately the same skill level. The test began with an introduction to the lightering operation. Including a short film showing the preparation and execution of the operation, guided by a skilled mooring master. A normal track to follow in the lightering scenario was then presented to the test subjects, Figure 4. The subjects were then asked to follow this planned route within the framework which these figures provide. The service ship started up seven cables astern of the STBL on her starboard side, 3 cables off.

Information regarding the interaction effects between the vessels during landing was given. In particular, the transversal forces on their own ship bow were pointed out. The vessels specifications were reviewed. The service ship was a shuttle tanker of 124,000 (dwt) in ballast. This vessel had good manoeuvrability with two propellers and two high effect Schilling rudders. Length of the ship is 265 meters. The STBL was a super tanker, VLCC, of 386,000 (dwt) with a LOA of 353 meters. The VLCC was equipped with Yokohama fenders. The test subjects operated with manual steering control, controlling both the rudder and the engine themself. The test person who used radar inserted the parallel index and used this together with the VRM to control the voyage.

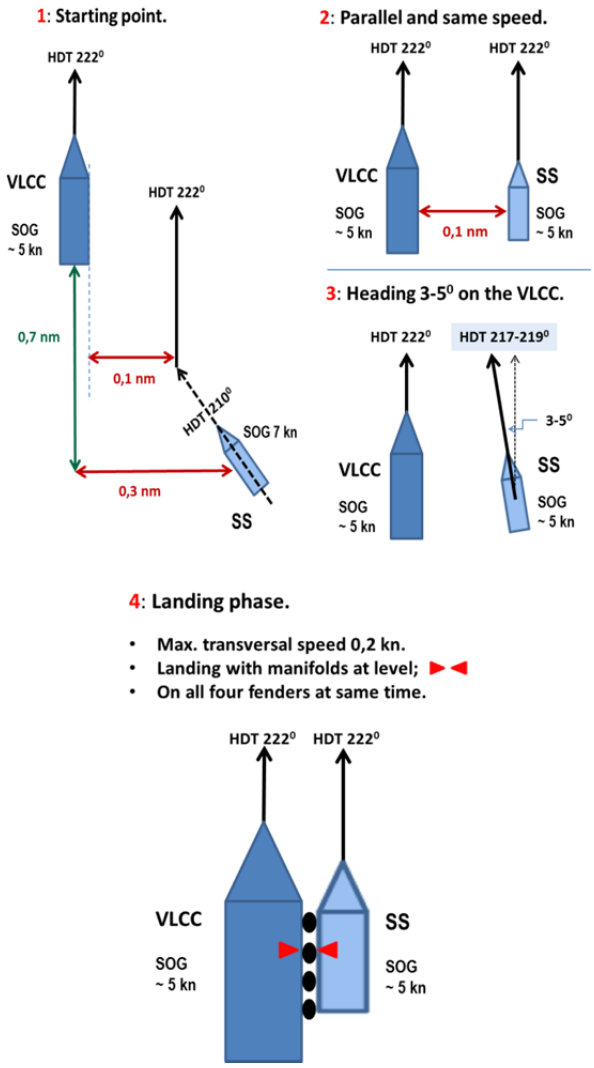


Figure 4: The optimum track to follow in the test scenario, with the criteria presented in the sketches from Position 1 to Position 4 as it was presented to the test subjects before the test.

4. ANALYSIS

4.1 EXPECTATIONS

The ideal outcome of the introduction of the DSS is that the real-time information of the vessels relative movement can improve the decision-making process. The input from a dedicated DSS goes faster through the steps in the decision-making process and does not need to be selected or filtered. A good GUI will provide more exact information, especially through situation awareness, and less time will be spent on selecting and comparing information with the internal memorized experiences of the decision-maker. This will hopefully give a safer and more efficient performance.

4.2 RESULTS OF THE TEST

During each test run several parameters were logged from the Kongsberg Maritime, KM, simulator and from the decision support system, DSS. Based on the data logged from the DSS different graphical representations of the parameters are presented. Figure 5 shows longitudinal relative positions differences between the DSS test and the STD test, from Position 2, parallel to the landing.

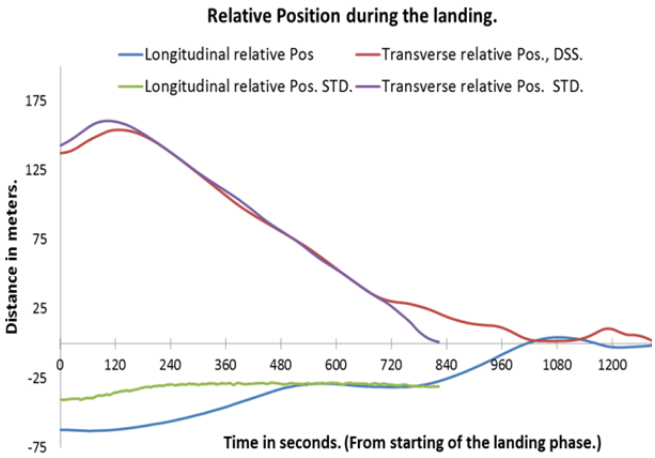


Figure 5: Longitudinal Relative Positions.

Figure 6 give information about the rudder orders from the start to the landing, both for the DSS test and for the STD test. The amount and the frequency of these orders can give an indication of the decision maker's control of the vessel. In Figure 7 the different transverse speeds of the DSS test during landing can be seen. The VLCC runs on autopilot and is affected by the interaction effect in the landing phase.

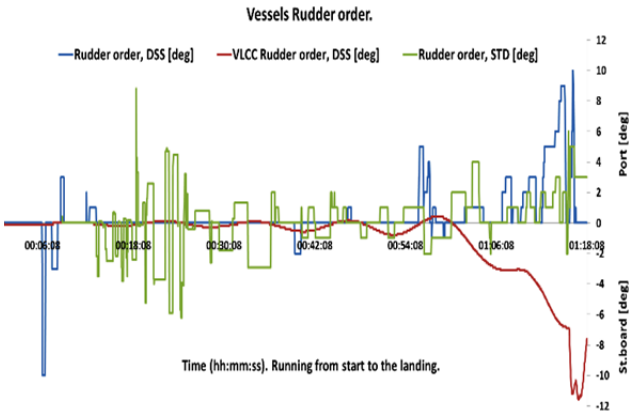

Vessels Rudder order.
Rudder order, DSS [deg]
VLCC Rudder order, DSS [deg]
Rudder order, STD [deg]
Port [deg]
St.board [deg]
Time (hh:mm:ss). Running from start to the landing.

Figure 6: Rudder order for both DSS and STD test.

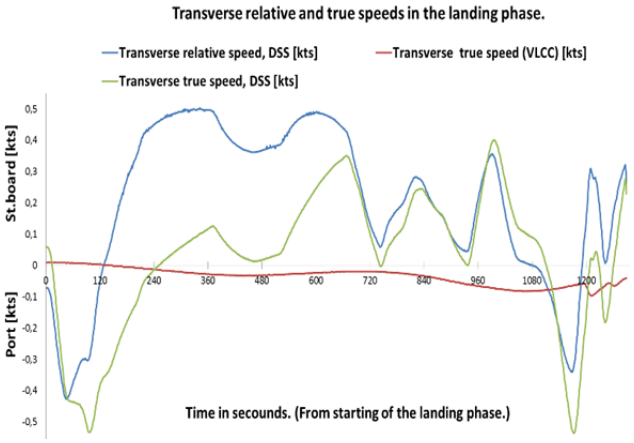

Transverse relative and true speeds in the landing phase.
Transverse relative speed, DSS [kts]
Transverse true speed (VLCC) [kts]
Transverse true speed, DSS [kts]
St.board [kts]
Port [kts]
Time in secounds. (From starting of the landing phase.)

Figure 7: Transverse speeds in the DSS test.

In Figure 8 the transverse distance and speed at bow are compared in the last 30 seconds of the landing phase. In the DSS test the bow is moving away from the VLCC before closing in again. The DSS test had a lower transversal speed at bow in the landing than the STD test, around 1 (cm/s) and 3-4 (cm/s) respectively.

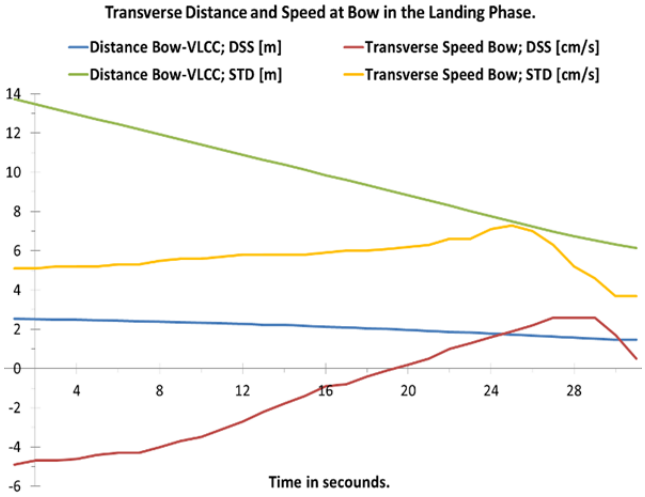

Transverse Distance and Speed at Bow in the Landing Phase.
Distance Bow-VLCC; DSS [m]
Transverse Speed Bow; DSS [cm/s]
Distance Bow-VLCC; STD [m]
Transverse Speed Bow; STD [cm/s]
Time in secounds.

Figure 8: Test-data during landing are compared.

5 Conclusion

The objective of the pilot test was to evaluate the performance in order to establish suitable methods and procedures for later larger evaluation of the DSS. Analysis of time series plots can show the quality and the manoeuvring time of each STS approach manoeuvre. The degree of control in the landing phase is of high importance. In the STD test the service ship landed with a heading difference to the VLCC of 4 degrees, resulted in a landing on the forward fender only. It is apparently a problem to observe distances and angles between the vessels only by visual measurements.

A screening of the test subjects before commencing the test is therefore of significant importance to ensure that the performance are compared at the same level of skill and experience. It is however a reason to expect a certain difference in the decision-taker's human variation. For instance just a little too late helm orders can result in a disturbance in the test data. One important test criteria is the transverse landing speed and this can easily be deducted from these tests. The use of rudder and engine force can say something of the decision-taker’s sense of control during the operation and also an indication of the effectiveness.

6. REFERENCES

(1) Husjord D. and Pedersen E., *‘Operational Aspects on Decision-making in STS Lightering,’* Proc. of the 19th International Offshore and Polar Engineering Conference and Exhibition (ISOPE 21 – 26 June 2009), Osaka, Japan, 2009.

(2) OCIMF & ICS, ‘Ship To Ship Transfer Guide,’ *Petroleum 4th Ed.* 2005, pp 3.50.

(3) Endsley, M. R. *‘Situation Awareness Global Assessment Technique (SAGAT).’* Northrop Technical Report. Hawthorne, CA, pp 789-795, 1997.

(4) Husjord, D., Pedersen, E. and Øritsland, T. A., *‘Integration and Testing of an STS Decision Support System in a Full-Mission Ship Maneuvering Simulator,’* 2nd International Conference on Ship Manoeuvring in Shallow and Confined Water. RINA. Trondheim, Norway. May 18 - 20, 2011.

離着岸操船におけるタグボート運用要素の評価

正会員　石倉　歩（海技大学校）　学生会員○坂下　純一（神戸大学）
正会員　林　祐司（神戸大学）　正会員　村井　康二（神戸大学）

要旨

商船等（本船）の離着岸時の航跡は、AIS 情報を基に再現することができ、安全で効率的な離着岸操船の評価に利用することが可能であり、操船シミュレータの離着岸操船評価も航跡を用いて行われている。その際に本船の船速、針路および障害物までの距離に注目し、時系列に評価することが一般的であるが、タグボートの運用方法については、評価の対象として注目されることが少なかった。

本論では、22 例の実船の離着岸操船ビデオ映像と、同時に取得した本船操船者（水先人）とタグボート操船者の音声により、タグボート運用の時機、時間、出力および出力方向（タグボート運用要素）について詳細な調査を行う。また実船と類似した訓練シナリオを採用した操船シミュレータ訓練のタグボート運用要素を抽出し、両者の比較・検討を行う。本論では、この方法で実船を基準とした操船シミュレータ訓練のタグボート運用要素の評価基準構築を目的とした基礎的研究を行う。

キーワード：教育・訓練、離着岸操船、タグボート、タグボート使用方法評価

1. タグボートの運用実態

本船の船種、国際総トン数、喫水、サイドスラスターの有無および気象・海象等により、タグボートの運用隻数は決定される。また岸壁の地理的要因、交通輻輳度、他船係留状況及び着岸舷によりタグボートの運用方法が異なる。

着岸時における本船挙動は、(1)防波堤外及び航路内における港内航行　(2)岸壁へのアプローチ操船　(3)岸壁前面における停止　(4)岸壁への横移動　(5)着岸　のフェーズを辿る。

1.1　タグボートの運用

(1)防波堤外及び航路内における港内航行

2 隻のタグボートが支援する場合、船首付近のタグボート（艏タグ）は、本船前方を中心に見張り業務を行う。船尾付近のタグボート（艫タグ）は、本船の船速が 5～6 kts 以下になるとタグラインを固縛し、本船船速の制御に従事する。

(2)岸壁へのアプローチ操船

艏タグ:本船主機と舵による針路制御を支援する。

艫タグ：本船の針路と船速を制御する。

(3)岸壁前面における停止

艏タグ：本船の針路を制御する。

艫タグ：本船の針路を制御し、主機による船速制御を支援する。

(4)岸壁への横移動

艏タグ：本船の前後位置及び横移動速度の制御。

艫タグ：本船の前後位置及び横移動速度の制御。

(5)着岸

艏タグ：本船の着岸位置の保持を行う。

艫タグ：本船の着岸位置の保持を行う。

1.2　タグボートの運用実態

図 1 は京浜港における岸壁へのアプローチ操船時の本船とタグボートの画像である。本船とタグボート間の通信は、専用トランシーバで行う。

2. 操船シミュレータ訓練におけるタグボート運用の実態

実船の離着岸データと類似のシナリオを抽出して、解析の対象とした。実船を模擬したシナリオのために､タグボートの運用は実船の場合に酷似する。即ち、本船挙動のフェーズに合わせたタグボートの運用となる。

図 2 は操船シミュレータ訓練のタグボート運用要

図 1　岸壁アプローチ操船時の本船とタグボート

素を時系列に表したグラフである。図中の縦軸はタグボート出力と出力方向の「PUSH」と「PULL」を表す。「Direction 」は本船座標（船首を 0 時とした 12 方位の座標）における、タグボートの出力方向である。一方、横軸は時間を表し、各度数の横幅は、タグボートの連続した運用時間を表す。

3. 類似シナリオの選択とタグボート運用要素の抽出

実船のビデオ映像のうち 18 例が着岸操船である。残りの 4 例が離岸操船である。各事例と類似のシナリオを 1 事例あたり 2〜3 本を選択した。但し、京浜港以外の港湾での操船シミュレータ訓練シナリオのために、岸壁アプローチ操船以前の航行条件が大きく異なるために、解析するフェーズは岸壁アプローチ操船から着岸までとした。

4. 実船と操船シミュレータ訓練におけるタグボート運用要素の比較

4.1 実船のタグボート運用要素

ビデオ画像及び水先人とタグボート操船者の音声により、タグボート運用要素を時系列で求めた。

タグボートの運用開始及び終了時刻は、水先人のタグボートに対する号令（タグ号令）の時機ではなく、タグ号令とビデオ画像により判断した実際にタグボート出力が発生した時刻とした。

4.2 操船シミュレータ訓練のタグボート運用要素

図 2 は、操船シミュレータ装置より抽出したタグボート運用要素をグラフにしたものである。タグボートの運用開始及び終了時刻は､実船と同様である。

4.3 実船と操船シミュレータ訓練のタグボート運用要素の比較

実船と操船シミュレータ訓練のタグボート運用要素の各フェーズにおける相異は次のとおりである。

(1)岸壁へのアプローチ操船

艫タグによる本船の速度制御は、実船の方が頻繁に行われている。実船では舵利きを保つために主機を用いるが、その際の増速を制御するために 6 時方向のタグボート「PULL」を多用している。

(2)岸壁前面における停止

岸壁前面における停止は、岸壁に平行で船幅の 2 倍程度の横距離で一旦停止する操船法法が一般的とされ、両者ともにその操船方法を採用している。タグボート運用要素も類似の傾向を示している。

(3)岸壁への横移動

横移動は 20 cm/sec 程度の速度から開始され、岸壁平行を保ちながら岸壁に接近し、着岸寸前で数 cm/sec から 0 cm/sec の速度に減速する。実船では操船シミュレータ訓練と比較して、タグボート出力を D. Slow の 1/4 から D. Slow の 1/2 を多用しながら岸壁接近を行っていることが分かった。

(4)着岸

実船では本船の係留索を確保するために、タグボートは D. Slow の 1/4 の出力で本船を岸壁に押し続ける。一方、操船シミュレータ訓練の場合は、着岸後に訓練を終了する傾向が強い。

5. まとめ

実船と操船シミュレータ訓練を比較すると実船の場合は、より細やかなタグボートの運用を行っていることが分かった。特に D. Slow の 1/4 の出力を多用している。

今後は実船及び操船シミュレータ訓練を同一海域及び岸壁で行い、タグボート運用要素の蓄積を行う。これにより操船シミュレータ訓練のタグボート運用要素の評価基準構築を目指す。

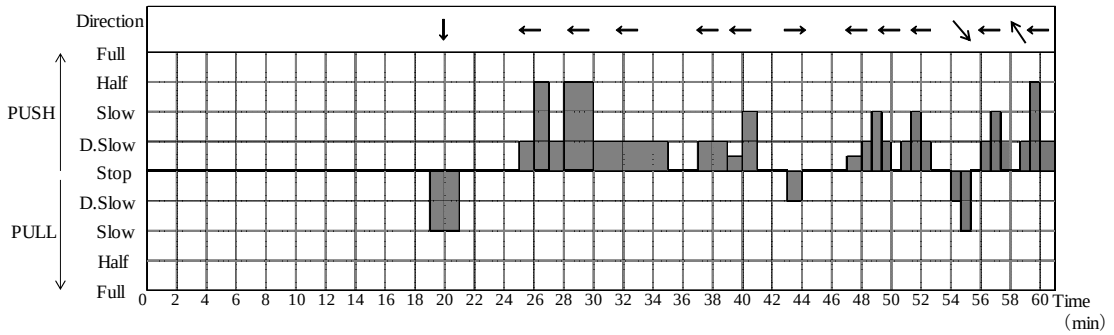


図 2　操船シミュレータ訓練のタグボート運用要素

日本人ＶＴＳ英語の誤用分析と効果的学習法の提案

正会員　髙木　直之（東京海洋大学）　　正会員　内田　洋子（東京海洋大学）

要旨

本研究は、船舶航行支援にあたる日本人オペレータの英語に見られる誤用を分析し、これを語順、動詞の時制・態・用法、前置詞、その他の範疇にわけて記述したものである。これら誤用の背景には、基礎的な英語訓練の欠如と、英語を母語としない船舶職員との無線交信の中で、通じることを優先させる必要性があるものと推察される。本研究は同時に、日本人オペレータに特徴的な誤用に基づいて、SMCP に代表される規範的 VTS 英語を習得するための効果的学習法を提案し、船舶の安全運航に寄与することを目的としている。

キーワード：交通　交通管制　海事英語

1. 研究の背景と目的

本論の第一著者は、国内７ヶ所の VTS エリアで管制にあたる管制官や、国内主要港湾でポートラジオ業務にあたるオペレータの英語研修を依頼され、内部研修の一環として、日本人オペレータと外船との無線交信の録音データを聴取する機会に恵まれてきた。

VTS 英語（船舶管制業務の際に使われる英語を本論では VTS 英語と呼ぶ）は、多くの場合ルーチン性の高い情報の交換・提供が主であるため、規範的英語からの逸脱（発話の訛りや文法的誤用など）に対する許容度が高い。たとえば前方の船舶に接近しつつある船舶がマーチスから連絡を受けたとしよう。”Ahead vessel, you overtake?” と言えば、その意図するところはほぼ理解されよう。

しかしこの文脈依存性は、規範的英語習得の観点に立てば、いわば両刃の剣である。VTS が船舶の安全運航をその第１の目標とする以上、「通じなければはじまらない」ことは自明である。しかし「通じさえすればよい」という態度は、IMO による Standard Marine Communication Phrases （SMCP）(1) の編纂と推奨に代表される、通信英語の標準化という国際的流れに逆らうものである。

本論の目的は、ポートラジオを運営する東洋信号通信社によって提供された録音データ(約 300 時間)と、海上保安庁ならびにポートラジオのオペレータ研修中に実際に観察された英語に基づいて、VTS 英語に見られる誤用を定性的に分析し、その結果に基づいて、規範的な VTS 英語習得を可能にする効果的学習プログラムを提案することで、日本の海上交通の安全に言語面から寄与することにある。

2. 誤用分析

2.1　誤用の分類

海事英語では、オーダーや無線交信において、冠詞を省略するという伝統があるため、本論では、冠詞に関する誤用は分析せず、語順、時制、前置詞、その他の誤りにわけて、以下に記述する。なお船舶・航路名などは A-maru, X,Y などで代用した。

2.2　語順の誤り

日本語の語順の影響による、以下のような誤りが見られた。

誤：You A-maru follow.
正：You follow A-maru.

「貴船は A 丸に続いてください」の語順がそのまま反映されたものと思われる。SVO の形式をとる英語では、You A-maru follow. ではどちらの船が先行するのかという肝心な情報が伝わらない。

誤：ahead vessel
正：vessel ahead of you
誤：starboard abeam vessel
正：vessel on your starboard beam

相手船から見た相対的位置で当該船付近の船舶の位置を示す表現は、英語では被修飾語である vessel の後に修飾語句が続く、いわゆる後置修飾だが、日本語の「前方の船舶」「右舷正横の船舶」の語順につられてしまう誤りが多い。反航船、動向船にも opposite course vessel や same course vessel が使用

されることが多いが、英語では vessel on the opposite course, vessel on the same course のように後置修飾となる。「貴船の[前方・後方・右舷前方・左舷後方]の船舶」にあたる英語表現は SMCP の中に規定されているので、これをそのまま使うことが望ましい。

2.3 動詞の時制・態、用法の誤り

VTS では、「これから～する」のか、それとも「今～している最中」か、「すでに～してしまっている」のかの区別（時制）や、海賊船を「追いかけている」のか海賊船に「追いかけられているのか」（態）の区別が重要である。ここでは動詞の時制や態、動名詞・不定詞など動詞の用法の誤りをまとめる。

「貴船は X 航路に戻りました」の意で：
誤：You now return to X Traffic Route.
正：You have returned to X Traffic Route.
　　You are now back in X Traffic Route.

You now return to X. では、「X に戻れ」という命令文と理解されかねず、現在のポジションが航路外であるという誤解を招きかねない

「貴船は東航レーンを外れました」の意で：
誤：You are overrun eastbound lane.
正：You have left the eastbound lane.

You are overrun. のように be 動詞の定形のあとに動詞の原形が来ることはない。(overrun を過去分詞のつもりで使ったのであれば別だが、その可能性は低い。overrun は通常飛行機が滑走路をオーバーランする場合に使われる動詞で、この文脈では You have left the eastbound lane. や You are now outside the eastbound lane. の方が適切だろう。日本語となった「オーバーラン」をそのまま使ったものと推察される。

誤：If you will meet her, pass astern of her.
正：When you meet her, pass astern of her.

時や条件を表す if や when で始まる副詞節中では、未来を表す will は使わない。またいずれ行きあうことは、レーダー上の情報からほぼ確実なので、「もしも」を表す if より、when の方が適切。

誤：Your officer already bring to the hospital.
正：Your officer has already been brought to
　　the hospital.

これは態の誤り。already という副詞を使っているので、現在時制を使ってあっても誤解は避けられそうだが、このままでは、「オフィサーが病院に持って行きました」の意味になる。しっかりと現在完了の受け身を使えるようにしたい。

誤： After overtake, follow her.
正： After overtaking, follow her.

after overtake のように前置詞の後に動詞の原形が続くことはない。この誤りも数多く見受けられた。

「行き先信号を揚げていません」の意味で：
誤：Don’t hoist destination flags.
正：You are not flying destination flags.
　　Your destination flags are not visible.

Don’t hoist では、否定の命令文で「信号旗を揚げるな」を意味してしまう。日本語では、相手に質問する際に主語を言わないことが多いが、この習慣を英語に持ち込んだための誤りであろう。

hoist は「旗を（下した状態から）上へ揚げる」と言う動作を表す動詞であるから、「行き先信号が揚っていません」には、旗を「掲げている」を表す fly や show を現在進行形で使うか、SMCP にも出てくる”～ is/are not visible.” 「～が見えません」を使って、Your destination flags are not visible. と言えばよいだろう。

2.4 前置詞の誤り

日本語にない前置詞にかかわる誤りは、そもそも前置詞を用いるべきところに前置詞を使わない場合と、誤った前置詞を用いてしまう場合に分かれる。

誤：Stand by Channel 16.
正：Stand by on Channel 16.

「チャンネル 16 を準備する」ではなく「チャンネル 16 で待機する」なので、前置詞の on が必要。これも SMCP そのままのフレーズ。

誤：Keep starboard over the fairway.
正：Keep to the starboard side of the fairway.

「航路の右側を航行する」のは世界の船乗りの常識なので、前置詞の to がなくても、また over the fairway という不自然な前置詞が使われても十分に意図は通じるが、英語では Keep to the starboard side of the fairway. が適切。

誤：You will meet A-maru after 30 minute.
正：You will meet A-maru in 30 minutes.

船舶の管制現場では、「今から X 分後に～する」という情報提供が頻繁に行われるが、このときの「～分後」に after を使うのは不自然。in が適当な前置詞である。

minute や hour, meter, cable や mile などの単位は、1 以外の数字がつく場合（たとえゼロでも）複数形になるが、日本人オペレータの場合、すべてが単数になるほうが普通。5 minute や 12.5 meter のように数をはっきりと言えば、もちろん複数形の s はなくても事足りるが、「１の時以外は複数」と覚え、minutes, hours, meters, miles, cables のように常に複数形を用い、one の時だけ単数にすると考えれば、正しく使えるはずである。

誤：Thank you report.
正：Thank you for [reporting/your report].

「報告ありがとうございます」と言いたければ前置詞の for が必要。「報告をしてくれて」なら動名詞を使って for reporting 「あなたの報告に感謝する」なら名詞を使って for your report と言う。

2.5 その他

本節では、2.2 から 2.4 の範疇に属さない誤用をまとめる。

誤：Don’t close.
正：Stay clear.

衝突しそうな状況下で「接近するな」のつもりで発せられたのが Don’t close. これではたとえ/klous/と発音しても、close が「閉じる」という意味の動詞と解釈され、「閉じるな」と理解されかねない。ぶつからないようにしろ、なら Stay clear. もしくは Keep clear. と言えばよい。

誤：You are dangerous course.
正：You are steering a dangerous course.

「貴船は危険なコースです」はやはり不自然。正しい表現として挙げたフレーズは、SMCP そのままである。

誤：Call me again when you arrival X line.
正：Call me again when you arrive at X line.

arrival は名詞なので、when you の後には続かない。when you arrive at X line と言うか、名詞として使いたければ upon your arrival at X line のように言えばよい。when passing X line でも可。

誤：No need position report any more.
正：There is no need to report your position any more.

「もうポジションを報告する必要はありません」と言いたいことはわかるが、no need も、position report も名詞で、文の骨子を決める主語とこれに相当する述語動詞がないため、英語としては非常に不自然。 There is no need to ～ のかわりに You don’t have to report your position any more. No further position reporting is necessary. などと言ってもよいだろう。

３. 考察と学習法の提案

3.1 誤用の背景に関する考察

マーチスやポートラジオの管制の不備で事故が頻発しているわけではないことからも、管制業務にあたるオペレータが、業務を遂行するために必要な「通じる」英語を操っていることは明白だが、同時に２章に示した誤用の例は、語順や動詞の時制・態、時や場所に関わる前置詞・接続詞などの基礎的文法事項に関わる訓練が、残念ながら不十分なオペレータの存在を示している。

１章でも述べた通り、VTS 英語の高い文脈依存性と規範逸脱に対する許容度の高さが、規範的な英語の習得を妨げているという事実は否めない。苦し紛れに No need position report. と言えば、位置通報ラ

インを通過するたびにマーチスを呼び出していた出港船は、事情を理解してくれるからである。

さらに大多数の乗組員は英語を母語としない人々で、無線通信で使われる相手の英語もまた、文法的規範から遥かに遠く離れている場合もある。日本で使われる VTS 英語は、船舶の安全運航という特殊な文脈に特化した、一種のピジン英語（交易上の必要から生まれた英語と現地語の混成語）であると捕え、現状を肯定することも可能かもしれない。

しかしルーチン化した情報の授受がどうにかできるだけのレベルにいつまでも留まっていては、ひとたび緊急の事態が生じた際の対応に不安が残る。当然ながら英語母語話者の発話の理解に苦しむ場合も出てくる。最悪の場合、人命の損失や深刻な海洋汚染を引き起こす可能性さえある。やはり現状の改善が望まれる。

長年業務に従事してきたベテランはともかく、新たに管制業務に就く新人に対し、日本人学習者の弱点を考慮した効果的な学習方法を提供し、しかるべき教材を用いて十分な反復練習を怠らなければ、必ずや規範的 VTS 英語が習得できるはずである。次節では、我々が考える最善の学習方法を提案する。

3.2　効果的学習法の提案

3.2.1　文法

まず文法面だが、基礎的な不規則動詞の活用と合わせ、基本的時制（現在・現在進行・現在完了・現在完了進行、過去、過去進行）で、能動態・受動態が使い分けられるよう、反復練習を行う。あわせて時と場所に関する前置詞・接続詞もマスターする。

3.2.2　語彙

相手船からの相対的位置を用いて当該船舶の周囲の船舶を特定する表現（vessel 30 degrees on your port bow など）や、物標からの方位と距離、緯度・経度などを使ったポジションの指定、SMCP が推奨するメッセージマーカーや、無線交信のルーチン表現（Stand by on channel 16. など）は、すべてそのまま使えるよう暗記して練習する。

SMCP に網羅されていない、VTS 業務に必要な単語は、動詞・名詞・副詞・形容詞の品詞ごとにまとめ、その用法とともに学習する。特に火災や急病など緊急事態に関わる語彙や表現は、確実に理解できるようにしておく必要がある。

3.2.3　発音と聞き取り

発音に関しては、海事英語の発音と聞き取りに特化したサイト[2]などを参考に、日本人訛りがあっても聞き取りやすい発音（閉鎖子音の後に余計な母音を挿入せず、できれば R と L の区別をつける）を目標とする。聞き取りは、さまざまなお国訛りに直面することになるが、フィリピン、中国に関してはその特徴的なパターンが研究されているので、参考にすれば慣れも早いだろう。[3][4] あとは日々の業務の中で、訓練を積む以外にない。

3.2.4　意志疎通の戦略

通話の相手の多くが非英語母語話者で、その英語力も千差万別である以上、通じなかった場合のコミュニケーション戦略もまた、オペレータにとって重要である。聞き取れなかった語のみを繰り返すよう求めたり、特定の単語を綴らせたり、同じ内容を別のより簡単な単語で表現するなどの工夫が大切である。たとえ相手が英語母語話者であってもゆっくり話すよう毅然として求める勇気も必要である。

４. まとめ

本論では、日本人オペレータによって用いられた VTS 英語のサンプルに基づき、彼らの英語の誤用を分類して提示し、より規範的な英語を使って航行支援サービスを提供するために有効だと思われる学習方法について提言した。今後はこの方針に基づく教材を開発し、実際にその学習効果を検証することを視野に入れている。

最後に我々に貴重なサンプルやフィールドワークの機会を提供してくれた海上保安庁と東洋信号通信社に深い感謝の意を表し、本論の結びとする。

５. 参考文献

(1) IMO Standard Marine Communication Phrases (IMO SMCP), IMO, 2002.

(2) 髙木直之：海事英語発音・聞き取り講座 http://www2.kaiyodai.ac.jp/~takagi/pweb/index.htm

(3) Naoyuki Takagi & Yoko Uchida: Phonetic Characteristics of Filipino Mariners' English, IMLA-IMEC 23 Proceedings,193-199, 2011.10.10.

(4) 内田洋子・髙木直之: 中国語話者の英語訛りの研究　−日本人海事従事者のために−、日本航海学会論文集、126、55−64、2011.

韓国人海事英語の音声的特徴について
―日本人が感じる外国語訛り―

正会員○内田　洋子（東京海洋大学）　正会員　高木　直之（東京海洋大学）

要旨

本研究は、韓国語母語話者の話す英語を聞く際に、日本語母語話者が顕著な外国語訛りを感じる音声的特徴の記述を通して、日本人・韓国人船舶職員間の意思疎通を阻む可能性のある訛りを紹介し、船舶の安全運行の一助となることを目的とする。訛りの記述には、英語・日本語・韓国語の音韻体系の対照分析による訛り予測、韓国人の海事大学学生の発音データ分析、日本人による訛りの判定という手続きをとった。

対照分析では、/l/と/r/のような音については、元々2 音の区別をしない日本人は訛りを感じない一方、前後の音環境により子音に無声・有声の揺れがあったり、/æ/が[e]、/f/が[p]の音で発音されたりするケースについては、日本人が期待する音価から外れるため、訛っていると判断される可能性が高いことが予想された。

韓国人 8 名が発音した海事英語の語彙や表現のデータ分析および日本人による判定の結果、多くは予想通りの結果となったが、そうならなかったケースも散見された。また、音節末の子音や子音連続についての発音および日本人への聞こえ方については、対照分析では説明しきれない結果が得られた。

キーワード：教育・訓練，海事英語，非母語話者，外国語訛り，国際語としての英語

1. はじめに

日本に寄港する外船の士官の国籍は様々で、日本語母語話者（以後、日本人）の VTS オペレータが無線交信をする際には、船員の母語の影響を受けた発音、すなわち各種「訛り」を含んだ英語に遭遇することとなる[(1)]。訛りは意思の疎通を図る際の障害の大きな原因の一つとなっており、船舶の安全な運航に支障を与える可能性もある。そのため、学校教育においてモデルとして聞くことの多いアメリカ英語やイギリス英語話者のような英語母語話者（以後、母語話者）とは違う、非母語話者による英語に対する知識および理解は、船舶職員にとって極めて重要なことである。

日本海域で聞くことの最も多い外国語訛りの英語は、フィリピン、中国、韓国出身の船員たちによるものである。このうち、フィリピン人と中国人（中国北方方言母語話者）の英語における訛りについては、報告済みである[(2, 3)]。そこで、今回は韓国語母語話者（以後、韓国人）の話す英語の音声的特徴を取り上げる。韓国には複数の方言が存在するが、本研究では老年層ではない話者によるソウル方言を元に記述と分析を行なう。なお、日本では南北統一名称として「朝鮮語」が用いられるのが一般的であるが、本研究での対象は主に大韓民国（これ以降、韓国）の船員なので、彼らの母語として韓国での正式名称である「韓国語」を用いることとする。

本研究の手法は、2 つの先行研究同様、英語・日本語・韓国語の音韻体系の対照分析と、将来航海士を目指している海事大学の学生の発話を録音した音声データの分析を通して、韓国語訛りの英語のどの音声的特徴が日本人にとって顕著な訛りとして感じられるかを記述するというものである。

2. 英語・韓国語・日本語音韻の対照分析

2.1　韓国語の音韻体系と音声的特徴

韓国語には 7 つの母音/i, e, a, ɔ, o, u, ɯ/と 19 の子音/b, p, π; d, t, δ ; g, k, γ; s, σ ; dʒ, tʃ, ζ; h; r; m, n, ŋ/、および 2 つの半母音/j, w/がある[(4)]。

韓国語において最も顕著な子音の特徴の一つとして、平音(lax; /b, d, g, s, dʒ/)／激音(aspirated; /p, t, k, --, tʃ/)／濃音(tense; /π, δ , γ, σ , ζ/)という 3 つの対立がある。この対立は、英語や日本語における無声音（声帯の振動を伴わない音、例えば/p, t, k/）と有声音（声帯の振動を伴う音、例えば /b, d, g/）の対立とは全く異なる。平音は基本的に「息を漏らさない無声音」で、日本語の/p, t, k/ (音声的には[p, t, k])、激音は「激しい息を出す無声音」で、英語の/p, t, k/ (音声的には[p^h, t^h, k^h])に類似した音声である。また、濃音は「声門をはじめとする発音器官の激しい緊張を伴う音」（[ˀp, ˀt, ˀk]）で、やはり無声音である。これら 3 種

類の音は、日本人の耳にはいずれも無声音（パ行、タ行、カ行）のように聞こえる[5]。

とはいえ、韓国語でバ行・ダ行・ガ行に聞こえる有声音（すなわち[b, d, g]）が現れないわけでもない。平音に限ってではあるが、有声音と有声音の間の位置では有声音に変化するのである。例えば、부부（夫婦）は /bu/＋/bu/ という音節の組み合わせとなるが、有声音の/u/と/u/の間の位置にある2番目の/b/は有声音[b]に変化し、実際の発音は[pubu]となる。

2.2 子音と母音に聞かれる韓国語訛り

2.2.1 母語話者の英語から逸脱した特徴

Lee (2001)によると[6]、韓国人が話す英語を母語話者が聞いた場合に外国語訛りとして捉えられる子音や母音の音声的特徴は次の通りである。

【母音】英語には20数種類におよぶ母音があるため、発音の仕分けができないケースが多く見られる。

(1) /oʊ/, /ɔː/ → [oː]

e.g. boat / bought の区別がない

(2) /ʌ/ → [ɑ]

e.g. cut / cot の区別なく、いずれも cot と聞こえる

(3) /æ/ → [e]

e.g. bat / bet の区別なく、いずれも bet と聞こえる

(4) (work における) /ɚː/ないし/əː/ → [ɔː]または[ə]

e.g. work / walk の区別がない

【子音】韓国語特有の平音／激音／濃音の対立と平音における有声・無声の入れ替わり、日本人の発音でも問題となる/l/と/r/の混同[7]、世界の他の多くの言語でも存在しないことの多い/θ, ð/（th の音）[8]など様々な要因による逸脱が見られる。

(5) 各種子音の有声と無声の入れ替わり

e.g. boatswain は [p]で発音、cabin は[b]で発音

(6) /l/, /r/ → [ɾ], [l]：韓国語では、音節頭で[ɾ]、音節末で[l]

e.g. light / right の区別がない

(7) /v/ → [b]

e.g. vessel が[b]で発音される

(8) /f/ → [p]

e.g. foxtrot が[p]で発音される

(9) /z/ → [ʤ]

e.g. zoo, zero を[ʤ]で発音

(10) /ɪ/や/iː/の後に来る場合の/ʃ/と/s/の混同

e.g. sea / she, sip / ship の区別がない

(11) /θ/ → [s]

e.g. thruster が[s]で発音される

(12) /ð/ → [d]

e.g. the, they が[d]で発音される

2.2.2 日本人に逸脱して聞こえる特徴

前項で取り上げた子音・母音は、日本人にとってすべて逸脱して聞こえるわけではない。日本人は何語であれ、耳に入ってくる音声をいわば「日本語の篩（ふるい）」にかけて聞くからである。たとえ母語話者には逸脱した音であっても、日本語の篩を通り抜けるものであれば、日本人の聞き手にはその音声があるべき形式から逸脱している、すなわち外国語訛りがあると感じられないわけである。

例として、表1に挙げられている4つの語の韓国人による発音は、母語話者が聞いた場合はどれも「訛っている」と感じられるが、日本人には訛りが感じられないものもあると予想される。

これに基づいて考えると、前項のうち、日本人に外国語訛りが感じられるのは、母音については (3) のみ、子音では (5) (8) (9) (12) ということになる。

表1 訛りの有無：日本人の判断

単語	日本人が期待する音価	韓国人の発音	日本人への聞こえ方	日本人の判断
right	ライト	[ɾait]	ライト	OK！
sea	シーあるいはスィー	[ɕiː]	シー	OK！
tanker	タンカー	[teŋka]	テンカー	訛っている
boat	ボート	[poːt]	ポート	訛っている

2.3 音節構造から生じうる韓国語訛り

「船」という語は/hu.ne/という、子音＋母音という構造でひとまとまりと感じられる単位（すなわち音節）2つから成っている。このように、日本語の基本的な音節構造は「(子音＋) 母音」で、母音の後に子音が続くことはない。それに対して、英語の音節構造は複雑で、母音の前だけでなく（例：sea /siː/）後ろにも子音が続く（例：ship /ʃɪp/）。また、子音は連続して続くことができる（例：speed /spiːd/, fast /fæst/）。韓国語も英語同様、母音の前後両方に子音が続きうるが、母音の後の位置では/b, d, g, m, n, ŋ, r/の7つに限定される。また、英語と違い、母音の前後に拘らず、子音の連続は許されない。

このような日本語の音節構造の特性のため、日本人は英語を話す際、日本語の「(子音＋) 母音」の音

節構造を持ち込む傾向がある。その結果 speed という単語では/su.pi.i.do/のような母音の挿入が起きる。

それでは、韓国人が speed を発音する場合はどうなるか？音節末の子音には、3 つの可能性がある：
(1) 韓国語も音節末に/d/が続きうるので（実際の音声は[t]だが）、それを speed の発音に適用する。
(2) [d]の音をなんとか発音しようとして、母音を挿入させる（/d/ +挿入母音）。
(3) /d/の音を脱落させて発音の省力化を行う（音節末子音の脱落）。

(1)〜(3)の発音はいずれも母語話者には訛っていると聞かれるであろう。対して、日本人が聞く場合、(3)でのみ訛っているという判断がされるであろう。

一方、音節頭の子音連続 sp-については s の後に母音を挿入して「子音＋母音」の構造を作ることが予想される。これは、母語話者には訛っていると聞かれても、同じストラテジーをとる日本人はそのようには判断しないと考えられる。

3. 音声データの分析

3.1 話者

録音に協力したのは、国際学会の学生部会に出席中の韓国海事大学の学生 8 名（男 4 名、女 4 名）であった。著者の一人（髙木）が、本人たちの承諾を得て、静かな部屋で海事英語のリストを読み上げてもらったものを録音した。

読み上げリストは(1)無線交信で用いられるアルファベットと数字（53 語から成る；5 名が発音）、(2) SMCP に従った海事表現（e.g. My flag state is Korea. My last port of call was Busan. My cargo is crude oil.）（126 語から成る；3 名が発音）の 2 種類であった。

3.2 訛りを判定した日本人

韓国人の英語を聞き、訛りの判定をしたのは航海士を目指す東京海洋大学学生 2 名（いずれも男）であった。著者の一人（内田）が静かな部屋で録音音声を聞かせ、対話をしながら各音声の訛りの聴覚印象についての聞き取り調査をした。

3.3 訛りの出現頻度

3.3.1 母音と子音における訛り

2.2.1 で記した(1)〜(12)の問題について、(A)問題となりうる母音ないし子音を含んだ語が何回出現したか；(B) そのうちで予想された韓国語訛りは何回、出現したか；(C) 日本人 2 人が訛っていると判定した回数について、以下にまとめた。例えば、Bravo (5/1/0)とは、Bravo という単語が 5 回出現して語末の “o” /oʊ/が[oː]になる可能性が 5 回あるところ、実際にその音になったのが 1 回、日本人の話者が訛っていると報告した回数は 0 回、ということを表す。

(1)【/oʊ/, /ɔː/ → [oː]】: Bravo (5/1/0), Echo (5/1/0), Kilo (5/2/0), Romeo (5/1/0), Tango (5/2/3), boat (3/1/0)
(2)【/ʌ/ → [ɑ]】: 該当単語なし
(3)【/æ/ → [e]】: Alpha (7/0/1), Tango (5/2/5), ladder (3/0/1), anchor (3/1/2), last (3/1/2), fast (3/0/1)
(4)【/ɚ/ないし/əː/ → [ɔː]または[ə]】: 該当単語なし
(5)【各種子音の有声と無声の入れ替わり】:
Bravo (5/2/0), Delta (5/1/0), Golf (5/1/0), Juliet (5/2/0), Five (5/0/2), Twelve (5/0/2), above (3/0/1), degrees (3/0/2), use (3/0/1)
(6)【/l/, /r/ → [ɾ], [l]】: Bravo (5/1/0), Charlie (5/1/0), Golf (5/1/0), Kilo (5/1/0), Lima (5/3/0), Romeo (5/1/0), Sierra (5/1/0), Three (10/4/0), Eleven (5/1/0), flag (5/1/0), last (5/1/0), rig (3/1/0)
(7)【/v/ → [b]】: November (7/3/0)
(8)【/f/ → [p]】: Alpha (7/4/8), Foxtrot (5/0/2) Golf (5/1/1), Uniform (5/2/4), Five (5/0/1), Fifteen (5/1/4), Fifty (5/1/5), flag (3/1/2), after (3/1/1), aft (6/2/4)
(9)【/z/ → [ʤ]】: Zulu (5/3/3), zero (6/4/4)
(10)【/ɪ/や/iː/の後に来る場合の/ʃ/と/s/の混同】: Sierra (5/1/0), Six (5/2/0), Sixteen (5/1/0), sinking (3/1/0)
(11)【/θ/ → [s]】: Three (10/4/0), Thirteen (8/2/0), Thirty (9/3/0)
(12) 【/ð/ → [d]】: this (3/3/0), the (30/6/0)

3.3.2 母音の挿入あるいは子音の脱落

いくつかの子音連続中あるいは語末の子音の後で母音の挿入が見られた：e.g. Foxtrot → Foxt[u]rot[u], X-ray → eks[u]-ray, Mike → Mik[u], eight → eight[u], aft → aft[a]。日本人はこれらを聞いて、カタカナ風に発音した場合に音が一致する eks[u]-ray（エクスレイ）や Mik(u)（マイク）については訛りの指摘をしなかったが、フォクストロット、エイトと聞こえることを期待しているのに Foxt[u]rot[u]（フォクストゥロットゥ）、eight[u]（エイトゥ）のような「違う音」に聞こえるものについては違和感を覚えるのか、訛っているという判定をした。

語末の子音を落とす現象も見られた：e.g. Foxtrot → Foxtro_, Juliet → Julie_, Quebec → Quebe_, eight → eight_, Titanic → Titani_。似たような現象は母語話者の英語にも見られるが、母語話者の場合は口の構え

だけはしておいて、開放をしないために音が聞こえにくい（e.g. Foxtrot の最後の/t/の音は、口は[t]の構えをするが、息漏れを起こさないで発音を終えてしまう）のに対し、韓国人のこれらの発音は、口の構えすらしないで終わっていた。最後の音節が丸ごと落ちるケースも一例だけだが見られた：vessel → vess_。これらの子音脱落を起こした語は、日本人には予想通り、訛っていると判定された。

3.3.3 その他の訛りの指摘

前述以外で以下について訛りの指摘があった：

(1) 期待するカタカナの音価と異なる場合：e.g. November（ノベンバーではなくノベンボー）, Victor（ビクターではなくビクトー）, Thirty（サーティーではなくソーティー）。

(2) 語末の音節が短すぎる：e.g. Bravo（ブラボーではなくブラボ）, Charlie, Echo, Thirteen などの –teen。

(3) アルファベットの読み上げにおける独特な上昇下降の抑揚。

4. 考察

2.2.1 で予想した通り、(6) /l/-/r/および(10) /ɪ/や/iː/の後の/ʃ/-/s/の混同、(7) /v/を[b]で発音したり(11) /θ/を[s]で発音するという韓国人の発音特徴については、まったく同じ特徴を日本人も有しているからであろう、訛りとして申告されるケースはなかった。

また (3) /æ/ → [e]、(8) /f/ → [p]、(9) /z/ → [ʤ]、(12) /ð/ → [d]については、予想通り、訛りがあると指摘されるケースが多かった。ただし、意外にも(5)各種子音の有声と無声の入れ替わりについては、/v/が/f/と聞かれる例は散見されたが、/b d g/が /p t k/ のように聞こえて違和感を感じるという日本人からの指摘はなかった。

子音連続時には母音の挿入が見られ、語末の子音については母音の挿入と子音の脱落の両方が観察された（例：Julieta ⇔ Julie_ ; Foxtrota ⇔ Foxtro_）。中国人の英語について調査した先行研究[3]でも同様の結果が出ている。母音の挿入と子音の挿入どちらが起きるかは、対照分析からは予測できないため、今後、綿密なデータ収集と詳細な解析を通して、どの言語の、どの程度の英語力の話者が、どのような発話スタイルにおいて、母音の挿入や子音の脱落を起こす傾向があるか､調査することが必要であろう。

今回の録音に協力してくれた話者は国際学会に代表として選出された学生であり、比較的英語力の高い話者であると思われるが、彼らよりも英語力の低い話者にはより強い訛りがあることが推測されるので、そういう話者のデータ収集および分析もするとよいと考える。また、対照分析で予測されたものの今回の話者では訛っているとして捉えられなかった特徴（e.g. 各種子音の有声と無声の入れ替わり）については、より幅広い話者からの音声サンプルを収集し、日本人にどのように聞かれるかをさらに調査する必要があろう。

5. まとめ

本研究では、日本人・韓国人船舶職員間の意思疎通を阻む可能性のある訛りについて、紹介した。ここで挙げられた特徴は、東京海洋大学の「海事英語HP (Maritime English Initiative)」[9]に音声サンプル付で紹介する予定である。多種多様な英語を耳にすることで、外国語訛りへの理解を深め、それを船舶の安全運行に繋げていただくことを切に願う。

7. 参考文献

(1) Yoko UCHIDA, Naoyuki TAKAGI: What Did You Say? — Why Communication Failures Occur on the Radio, The International Maritime English Conference, IMEC-24, pp. 170-179, 2012.

(2) Naoyuki TAKAGI, Yoko UCHIDA : Phonetic characteristics of Filipino mariners' English, The International Maritime English Conference, IMEC-23, pp. 193-199, 2011.

(3) 内田洋子・髙木直之：中国語話者の英語訛りの研究―日本人海事従事者のために―, pp. 55-64, 日本航海学会論文集, 第 126 号, 2012.

(4) 野間秀樹 : 韓国語教育論講座 第 1 巻, くろしお出版, 2007.

(5) 東外大言語モジュール, トップページ, http://www.coelang.tufs.ac.jp/modules/index.html, 2013.3.

(6) Jung-Ae LEE: Korean speakers, Learner English (Second Edition), Cambridge University Press, pp. 325-342, 2001.

(7) 竹林滋：英語音声学, pp.147-157, 研究社, 1996.

(8) J. JENKINS: The phonology of English as an international language, Oxford: Oxford University Press, 2000.

(9) Maritime English Initiative , トップページ, http://www2.kaiyodai.ac.jp/~takagi/mei/index.html, 2013.3.

操船者から見たAIS利用の現状-Ⅱ

正会員○間島　良博（海技大学校）　正会員　堀　　晶彦（海技大学校）
正会員　奥田　成幸（海技大学校）　正会員　戸羽　政博（海技大学校）

要旨

AIS（船舶自動識別装置）は、従来の航海計器では得ることができなかった船名や目的港等の実に様々な情報を船舶間のみならず船陸間でも共有することができ、操船者にとって有効な航海計器であると認識されている。しかしながら誤った操作による誤情報を発信するなど、取扱方法を熟知していないことに起因する問題が生じていることが前回の調査で判明した。

前回調査からさらに 4 年経過した現在では、日本国内における AIS の目的港表示がコード入力による方法に変更される等、AIS を取り巻く環境は大きく変容してきている。そこで筆者らは、操船者の AIS に対する認識や利用状況がどのように変化したかを把握し、4 年前に生じていた問題のその後や新たに発生した問題を検証するために、操船者に対してアンケート調査を実施した。以下に得られた代表的な知見を記す。

(1) 海上保安庁の広報活動や指導の成果もあり、情報を正確に発信する船舶が増加した。
(2) 情報を正確に発信する船舶は増加したが、操船者の AIS 情報に対する信頼度が低下している。
(3) 到着予想時刻の入力時刻帯が統一されていない等、運用システムに対する問題が生じている。
(4) 目的港のコード表示について、操船者は現状のシステムに不満を持っている。
(5) AIS 情報を衛星経由で収集し、船舶運航管理や遭難救助に役立てるシステムが構築されつつあるが、それに伴うリスクを懸念する声がある。

キーワード：電波航法・通信、AIS（船舶自動識別装置）、アンケート調査

1. はじめに

筆者ら研究グループは、2008 年 10 月に郵送調査法によるアンケート調査を実施し、2008 年当時の AIS の利用に関する現状や問題点を論究した(1)（以下、前回調査という）。

前回調査で得られた知見から、AIS は操船者にとって有効な航海計器であると認識されている一方で、操船者が取扱方法に熟練していないことに起因する問題点が認められた。

また 2010 年 7 月からは、日本国内における AIS の目的港表示がコード入力による方法に変更された他、簡易型 AIS（クラス B）の搭載が始まる等、昨今の AIS を取り巻く環境は大きく変化してきている。

前回調査から 4 年経過した現在において、再度操船者の AIS に対する意識や利用状況を調査し(以下、今回調査という)、前回調査と比較検討、さらに新たに導入された制度や設備について、操船者の立場からみた AIS の利用実態やその問題点について論究することで、より良い AIS の利用形態を追求することを目的とする。

2. 操船者へのアンケート調査

2012 年 10 月、郵送調査法により、「海運造船会社要覧」から運行実績がある海運会社を無作為に 228 社抽出し（内航・外航や運航船種問わず）、305 通の回答を得た。さらに、海技大学校の実務講習を受講した 91 名にも同様のアンケートを実施し、計 396 通のアンケートが集まった。

調査項目は、「どの程度利用しているか」「目的地情報の入力を適切に行っていると思うか」「使用法について教示を受けたか」「AIS 各情報は信頼できるか」「目的地情報のコード化について」「ETA の入力時刻帯について」など、AIS 情報の利用について関連性があると考えられる項目について設問した。さらに記述式によりコード化の利点・欠点や今後の要望などについて自由意見を尋ねた。

3. アンケート解析

3.1　パーソナルデータ

アンケート回答者を航行区域別にみると、内航が 67%、外航が 33%であった。（図 1）AIS 利用経験日数については、2 年以上が 86%であり、2 年未満の者の多くは、乗船期間も 2 年未満である場合が多かった。(図 2)

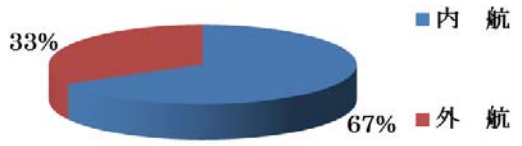


図 1　回答者の航行区域

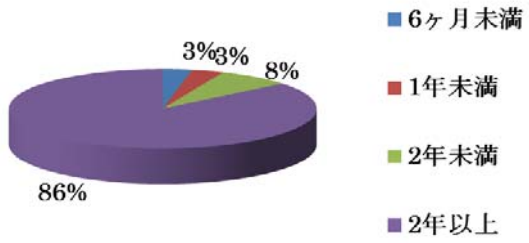


図 2　AIS 利用経験日数

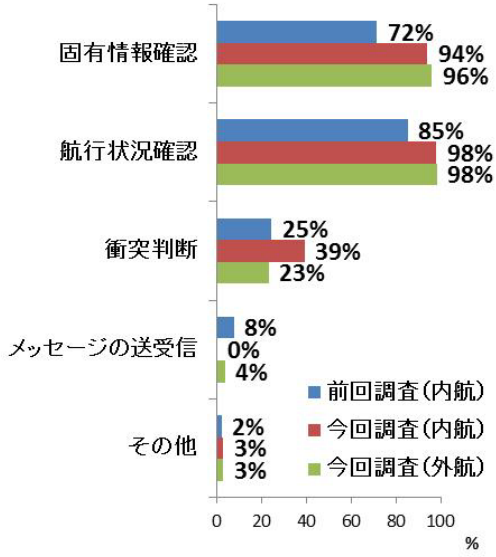


図 4　AIS 情報の利用目的

3.2　AIS 情報の利用方法

AIS 情報を他の航海計器に重畳表示して利用（以下：重畳利用という）しているかについて調査した結果を図 3 に示す。

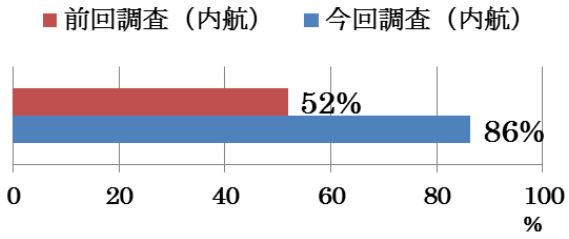


図 3　AIS の重畳利用率

得られたデータに対し有意水準 5%としたカイ 2 乗検定にて有意差の有無を検証した。カイ 2 乗検定による仮説検定の結果、重畳利用の差が有意であることの誤り確率（以下、p という）p=0.01%未満であり、重畳利用者が増えたと言える。

3.3　AIS 情報の利用目的

AIS の利用目的を以下の 5 項目で調査した。回答は利用目的全てを答えてもらう複数回答方式とした。結果を図 4 に示す。

(1)　船名等の固有情報の確認
(2)　航行状態や目的港等の航行状況確認
(3)　CPA 等の衝突判断
(4)　メッセージの送受信
(5)　その他

前回調査（内航）と今回調査（内航）とでカイ 2 乗検定による仮説検定を実施した結果、「固有情報の確認」（p=0.01%未満）、「航行状況確認」（p=0.01%未満）、「衝突判断」（p=0.21%）で今回調査の方が、利用者が増えた。

また今回調査の内、外航船員と内航船員の利用状況とを比較すると、「衝突判断」以外には差がなかったが、最も利用する項目で比較すると、内航船員の多くは「航行状況確認」を外航船員は「固有情報の確認」を選んでおり、利用頻度に違いが見られた。

3.3　AIS の原理についての知識

「送信情報は、情報の種類及び自船状況により通報間隔が異なること」、「受信情報の欠損」等 AIS の原理についての認知度を調査した。カイ 2 乗検定による仮説検定の結果、前回調査と比較して誤り率 1%未満で認知度が上昇した。

3.4　手動更新情報の正確度

航行関連情報等は船員が手動で更新するが、当該情報の正確度について、84%が 4 年前と比較して正確に更新している船舶が増加したと答えた。

3.5　ETA 情報の入力時刻帯の違い

手動で更新する ETA（到着予想時刻）情報の入力時刻帯について調査した結果、内航船員の多く（86%）は「日本標準時」で、外航船員の多く（77%）は「世界時」で入力しているということがわかった。

そこで、ETA 入力時刻帯で混乱したことがあるか

について調査したところ、内航船員の 42%、外航船員の 66%が ETA 情報の入力時刻帯で混乱したことがあると回答した。また ETA 情報の入力時刻帯を「世界時」もしくは、「JST 等の地方標準時」に統一するべきかどうかについて、内航船員の 50%、外航船員の 90%が入力時刻帯の統一に賛成している。

3.6 教育の必要性

「AIS の活用方法について講習や訓練が必要か」との質問に対する回答に、使用法について教示を受けた者と受けてない者とで比較した結果、使用法について教示を受けている者ほど講習や訓練が必要と感じていることがわかった。

3.7 目的港のコード入力

2010 年 7 月から、日本国内における AIS の目的地の入力方法がコード入力に変更された。それに伴い相手船の目的港を知る為には、コードを調べる事が必要になった。アンケート結果から目的港の検索方法は、8 割以上が海上保安庁刊行の「AIS への入力コード表」（以下、保安庁刊行コード表という）を利用していることがわかった。保安庁刊行コード表の満足度については 23%が「満足」「やや満足」と答え、63%が「不満」「やや不満」と答えた。

3.8 自由意見

得られた自由意見の一部を紹介する。

＜手動更新情報について＞

- 正確に入力する船が増えた。
- 海上保安庁の積極的な注意喚起や指導のおかげで正確になった。
- 少数の船舶でも誤入力があると全体の信頼性が損なわれる。

＜目的港コード化について＞

肯定意見

- 入力が統一され、曖昧さがなくなった。
- 目的港の県名やバース名までわかる。
- PC で検索するので便利になった。

否定意見

- 瞬時に目的港を判断できない。
- コードを調べるのが手間。
- 1 字でも入力ミスすると全く意味がわからない。
- 調べる時間が安全運航を阻害する。

＜AIS 情報について＞

- AIS 情報の信頼度は相手船の発信情報に依存するのでリスクがある。
- 情報が第三者に勝手に利用されている。
- AIS 情報を衛星経由で発信して商用利用することの是非について（情報開示による海賊等のリスク）

＜AIS の機能に関する要望＞

- 操作方法の簡略化や日本語表記

＜教育に関する要望＞

- 手動情報更新が徹底されるように取扱いに関する教育が必要。
- 小型船を含め海上のルールが遵守されるように普遍的な教育が必要。

4. 考察

前回調査（4 年前）と比較すると、AIS 情報を他の航海計器に重畳して利用する割合が大きく増える等のハード面の向上。利用者の操作習熟や知識の向上等のソフト面の向上が見られた事により、AIS の利便性がより広く認識され情報利用の幅が広がったと言える。

4.1 手動更新情報の信頼性向上

しかしながら前回調査と比較して「動的情報」「航行関連情報」の信頼性は統計的に有意な差で低下していた。これは、相手船の航海計器や手動更新情報が正確でなければ信頼することはできないということを利用者が認識したことが一因であろうと推察する。記述アンケートでも AIS 情報の正確性が相手船に依存する事へのリスクや、少数でも不正確な情報を発信する船舶が存在すると全体の信頼性が大きく損なわれるとする意見等からも伺える。

手動更新がされていないという状況は、ヒューマンエラーが主因である。出港時のチェックリストの作成や、手動更新情報を当直中に再確認するマニュアル等を作成する等、エラーチェーンを断ち切る工夫が必要であろう。また AIS の知識や取扱方法を習熟させるような訓練や教育が必要であると考える。訓練方法として、AIS シミュレータを用いた習熟訓練が多人数教育においても訓練効果が認められるとの報告もある[(4)]。

また、船員がよく利用する「目的港」と「ETA」等の手動更新情報は基本的に同時に更新している。さらに、「ETA」は必ず未来になる。そこで、「ETA」が過去の時刻であれば、警報を発生させる機能を搭載すればどうか。「目的港」が更新されているかを機

械が判断するのは難しいが、「ETA」が更新されていないかを判断するのは容易だろう。

4.2 ETA 入力時刻帯

ETA 情報は相手船の航路入航時刻の予測に利用される等、双方の船員が ETA をよく利用する項目として挙げているが、この ETA 情報の時刻帯が船舶によって異なっている。

AIS における ETA の入力時刻帯について、ITU（国際電気通信連合）では、「Rec. ITU-R M.1371-4」において ETA は世界時で入力するように規定されている。よって、AIS を製造する各メーカの取扱説明書では ETA の入力は世界時で入力するように記述されている。しかしながら、実際の ETA 入力時刻帯は船舶によって異なっている。これは、利用者である船員側には時刻帯に関する規定が存在していないことが要因であると推察する。

ITU での取り決めや各メーカの取扱説明書では世界時で入力するように記載されていることもあり、筆者らは世界時で統一するべきであろうと考える。しかしながら、内航船員は世界時に馴染みがなく不便を感じる可能性が高い。

そこで、AIS 本体に表示時刻帯の選択機能を設けてはどうか。入力時刻を日本標準時で入力したとしても、発信時には世界時に変換されて発信される。さらに、相手船の ETA を世界時から日本標準時に変換して表示する事ができれば、飛び交う ETA 情報は世界時で統一され、混乱は解消できるものと考える。

4.3 目的港のコード入力

次に目的港のコード入力化について、コード化に対するメリットを感じている船員はいるもののデメリットに対する意見が大勢であった。特にコードで表記された目的港を保安庁刊行コード表で検索する不便さと、検索に要する時間が安全運航を阻害するという意見が多かった。

コード化された経緯や恩恵は筆者らも理解できるが、コードの数は 500 を超えている。これら全てを記憶するのは難しいであろう。

AIS 情報の中でも特に利用頻度の高い目的港情報を効果的に利用する為には、保安庁刊行コード表による検索方法に改善の必要性があると言える。

そこで目的港情報をより効果的に利用できるようにするために、PC ベースのコード検索ソフトの普及を提案したい。これは PC ベースのコード検索ソフトを導入している船員は、コード化に対する不満を挙げていないことからも有効であることが伺える。

研究グループで作成した検索ソフトを海技大学校の実務講習を受講した船員に試用してもらい評価を聞いたところ良い評価を得ることができた。

4.4 AIS 情報開示によるリスク

発信する情報が広く公開される事によるリスクを懸念する声がある。例えば、海賊問題がその典型であろう。海賊船に船名、船舶位置、針路、速力、乗組員数、目的港、貨物等を常に把握されるリスクが伴う。AIS は常時作動が船員法施行規則第 3 条 16 項で定められているが、このような問題に対処する為に、同条において船長が航海の安全を確保するためやむを得ないと認める場合はこの限りではないとも定められている。

近年、人工衛星を利用して AIS 情報を収集し、全世界的に船舶の動静を把握するという動きがある。全世界の船舶動静を常時把握できることは船舶管理や遭難救助等において多大なる恩恵をもたらすことに予想は難しくない。しかしながら、海賊リスクという見地から考えると、船員にとって寛容できないリスクが生じる可能性がある。

特に本プロジェクトは民間企業も開発から参画し、商用利用も行われる計画であり情報提供者となる操船者側も情報管理のあり方について検討を重ねる必要があると考える。

5. まとめ

判明した運用上や制度上の問題点について、改善案を提案した。これらの提案の内、AIS 機器の改善に関する事項は、ソフトウェアプログラムの変更（ROM のバージョンアップ）で可能である。

今後提案した改善案の有効性や実効性を検証し、操船者にとって AIS がさらに利便性が高く、かつ安全に寄与できるような航海計器となるよう提言をしていきたい。

5. 参考文献

(1) 藤江晋平・堀晶彦・奥田成幸・新井康夫：操船者から見たAISの利用について,日本航海学会論文集, No.121, pp.103-109, 2009.9

(2) 中川浩一郎・松島巧記：AISシミュレータを利用した実習訓練に関する研究－AISシミュレータの導入とその有効性について－, 航海訓練所調査研究時報, No.87, pp.11-16, 2011.9

AISの運用の実態調査と受信エラーの分析

正会員○長谷川　和彦（大阪大学大学院）　非会員 角田　泰彬（大阪大学（研究当時））

要旨

AIS の活用を推進していく上で、AIS 通信の信頼性について把握しておくことは非常に重要である。本稿では、日本沿岸域の広い海域においてある船の航海中、AIS 信号を受信し、地域による AIS 通信の実態を調査するとともに、距離による受信強度の低下、メッセージ衝突の発生などに起因する受信エラーの分析を AIS シミュレータも活用して調査したので、その結果を報告する。

調査の結果、受信エラーに関しては、ふたつの原因があることがわかった。ひとつは、送受信船舶間の距離の 2 乗に比例する受信強度の低下に起因するものである。また、もうひとつは、AIS のスロット予約のプロトコルによるものであり、こちらは、距離に関係なく一定の割合で発生するものである。このふたつを組み合わせることにより、受信エラーを定性的、定量的に推定することができた。

キーワード： 電波航法・通信、AIS、受信エラー、SOTDMA、混信

1. 緒言

自動船舶識別装置（AIS: Automatic Identification System）は船舶の位置、速力、針路等の情報および安全に関する情報を VHF（超短波）帯の電波で自動的に送受信するものである。この装置は衝突回避のために活用することができ、海上交通の安全向上や円滑化への貢献が期待されているほか、搭載船の情報を容易に収集できる特性などに着目した様々な研究への活用が進んでいる[(1)]。しかしながら AIS には無線通信固有の問題として、メッセージ衝突の発生などに起因する通信障害の発生により他船情報の更新に遅れが生じ、避航などの安全に係わる動作に遅れが生じるリスクを内包している。

そこで本稿では、AIS 通信の信頼性に関する分析のひとつとして、送受信船舶間の距離が通信の信頼性に与える影響、およびメッセージ衝突に関する調査結果について報告する。

2. 受信エラーに関する実態調査

2.1　実態調査の手法

本稿ではAISメッセージの受信エラーを分析するために、実海域における AIS メッセージ受信記録の解析結果と、受信記録から得られる船舶の動的情報をもとにAISシミュレータを用いて当該海域の通信状況を再現した結果を比較することとした。

2.2　受信記録にもとづく受信エラー率解析

本解析を行うにあたっては、動的情報が通信プロトコルに従って定期的に反復して送信されることに着目した。まず、受信した動的メッセージに含まれる対地速力と船首方位から、発信元船舶の動的情報送信間隔を推定する。表 1 は、通信プロトコルによって規定されている動的情報の送信間隔である[(2)]。送信間隔を推定できれば、一定時間内に送信されたメッセージの数を推定することができ、受信が行われたメッセージの数を比較する事で、受信エラーの発生回数、ならびに発生割合（受信エラー率）を求めることができる。

表 1　動的情報の送信間隔[(2)]

Ship's dynamic conditions	Interval
Ship at anchor or moored and not moving faster than 3 knots	3 min.
Ship at anchor or moored and moving faster than 3 knots	10 sec.
Ship 0-14 knots	10 sec.
Ship 0-14 knots and changing course	3+1/3 sec.
Ship 14-23 knots	6 sec.
Ship 14-23 knots and changing course	2 sec.
Ship > 23 knots	2 sec.
Ship > 23 knots and changing course	2 sec.

2.2　AIS シミュレータを用いた受信エラー率解析

2.2.1　AISの通信方式と衝突、混信

AIS には、特有の通信方式が用いられている。1 分間を 2250 スロット、2 チャンネルに分割した時分割接続を採用している。そして、AIS 通信において最も多用されている通信方式である SOTDMA においては、送信されるメッセージの中に自船が次に送信を行うスロットの予約情報が含まれている。このメッセージを受信した各船舶は自己の周囲のスロット使用状況を把握・管理し、他船によって予約されていないスロットから自己が次に送信に使用するス

ロットを選択している。この方式の概念図を、図 1 に示す。

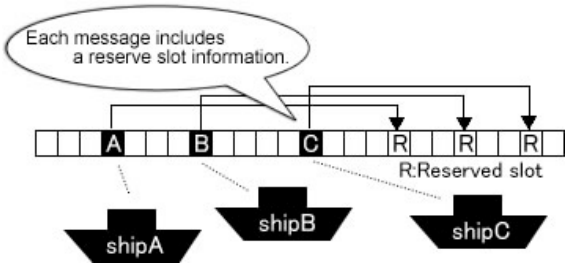


図 1　SOTDMA によるスロット予約(3)

このような仕組みを採用することで、不特定多数の船舶による多元的な通信を実現している。図２の Case 1 のような状況を考えると、船舶 A と船舶 B は互いの電波が受信できる場所に位置し、船舶 C は船舶Aと船舶Bの電波が届かない場所に位置している。この位置関係の場合、船舶 A と船舶 B は互いの次の予約スロットを知ることができるが、船舶 C は船舶Aと船舶Bとは予約スロット情報を含むメッセージの交換が行えない。つまり、スロット番号６に見られるように船舶Aと船舶Cが同一スロットを予約スロットとして独立に宣言し、メッセージを送信したとしても問題は起こらない。

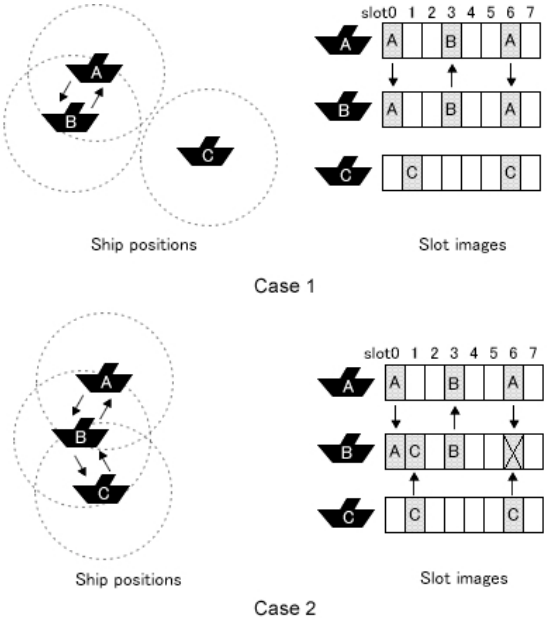


図２　メッセージ衝突の模式図(3)

しかし、その後、各船が移動して図２の Case 2（下の図）のような状態になった段階で、船舶 A と船舶 B、そして、船舶 B と船舶 C は互いの電波が受信できる場所に位置し、船舶 A と船舶 C は互いの電波が届かない場所に位置している。この位置関係の時、船舶 A と船舶 B、また、船舶 B と船舶 C も互いのメッセージを問題なく受信しあうことができる。つまり、船舶 B は船舶 A と船舶 C の両船舶とメッセージの交換を行うことができる。しかし、先ほど予約されたスロット番号６において船舶Aと船舶Cが同一スロットを使ってメッセージを送信した時、船舶 B には、両船からの電波が同時に届くことになり、電波の状態により、いずれかのメッセージ、もしくは両方のメッセージを受信できない事態が生じる。これが、衝突あるいは混信と呼ばれる減少である。

2.2.2　AIS シミュレータ

AIS シミュレータとは、個々の船舶が独立し、それぞれの運動状態に合わせて AIS 通信を模擬するシミュレーションシステムである(3)。AIS 情報の受信記録や輻輳海域シミュレーションシステムで生成される航行記録などをもとに、シミュレーション中、各船舶はそれぞれの運動状態の変化に応じて AIS 通信を行う。そして、受信を行った各船舶はメッセージ衝突の有無などから、衝突して受信(Receive stronger message)あるいはどちらのメッセージも受信できない混信(Garble)等の受信判定を実施する。

したがって、航行記録を差し替えるだけでどの海域においても AIS 通信を評価することができる。さらに、AIS 陸上局の設置場所などの各種パラメータや使用する通信方式の指定、通信手順の変更など AIS の設定条件を自由に変更することができ、既存の法規にとらわれることなく汎用的なシミュレーションを行うことができることも特徴のひとつである。

したがって、AIS シミュレータは、2.2.1 で述べたような状況をそのまま模擬し、与えられた海域の与えられた船舶交通流の中で，AIS のスロットの占有状況やスロットの衝突，混信を分析できる。実際に本システムを用いて、東京湾での Class B AIS の導入に関する検討(4)も行われている。

2.3　利用データ

解析に用いたデータは、2012 年に神戸大学海事科学部附属練習船深江丸（以下、本船）が実施した研究航海の際に収集した AIS メッセージの受信記録である。この記録は、3 月 13 日～21 日（深江～塩釜～深江）、8 月 30 日～9 月 6 日（深江～瀬戸内海～長崎

～四国沖～深江）の合計 17 日間分であり、海域によって差があるものの、受信メッセージ数は 1 日当たり 10 万件～50 万件、発信元船舶数は陸上局も含めて 1 日当たり 100 隻～900 隻程度であった。

今回の解析にあたっては、この受信記録の中から 3 月 20 日の記録に着目し、前述の受信記録解析、および AIS シミュレータへの入力を行った。この日の受信メッセージ数は 375,913 件、発信元船舶数(陸上局を含む)は 614 隻であった。図 3 に、受信記録中の動的情報をもとに作成した本船の航跡（赤、濃い線）と受信した他船の航跡（薄い船）を示す。

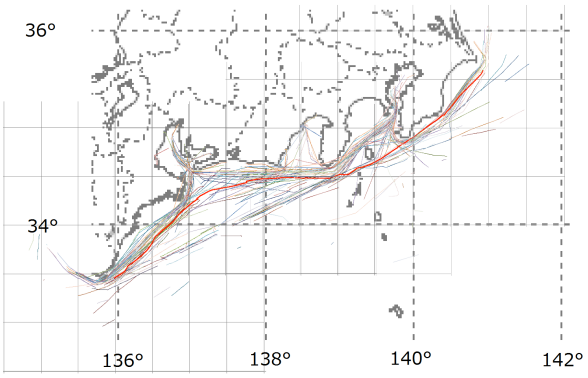


図 3　AIS 搭載船の航跡(3 月 20 日受信記録より)

3. 解析結果および考察

3.1　受信記録の解析結果および考察

解析対象船舶を抽出するにあたっては幅広い通信距離からのデータを収集するため、本船と 5NM 以内への接近が確認された船舶のみを候補船とし、さらに、その中から 19 隻を選んだ。そして、解析に当たっては、すべてのデータを本船との距離別に整理し、通信距離 5NM ごとに集計して解析した。図 4 に、その結果を示す。

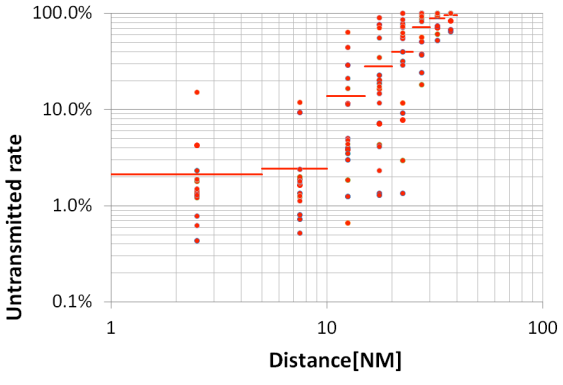


図 4　通信距離（区分）と受信エラー率の関係

各船のデータをその区分距離ごとにその中央を代表点としてプロットした。これらの結果は、発信元である船舶ごとに異なるアンテナ設置環境などの通信環境の影響を受け、大きなばらつきが生じている。そこで、送信元の船舶に関わらず、得られた送信メッセージ数を通信距離帯ごとにすべて足し合わせた上で受信エラー率を算出することで統計的に処理することとした。その結果が、図中の区分距離ごとに引いた水性線である。

通信距離 10NM 以遠においては、受信エラー率が距離の 2 乗に比例して増加していることがわかる。図中の斜め線は、距離の 2 乗に比例する直線である。

AIS メッセージの受信強度と通信距離に比例して低下していくことが福戸らにより報告されている[5]。図 5 は、福戸らによる測定結果を対数グラフに書き換えた結果であり、その低下が距離の 2 乗（図中の線は−2 乗の直線）になっていることがわかる。

以上の結果から、10NM 以遠における AIS メッセージの受信エラー率の増加は、通信距離の増加に伴う受信強度の低下によって概ね説明できる。

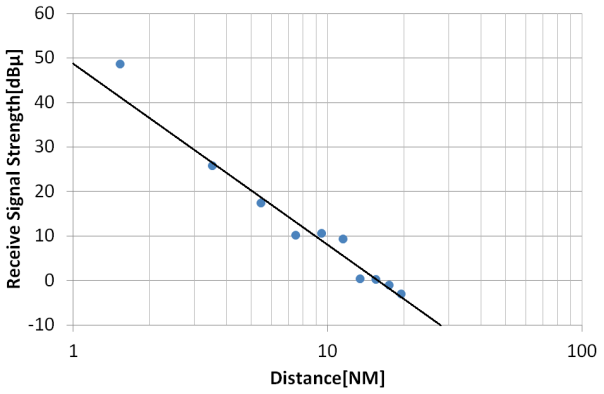


図 5　AIS メッセージの受信強度
（文献[5]に基づき再解析）

3.2　シミュレーションの結果および考察

他方で、通信距離 10NM 以内の結果については、受信強度の低下では説明ができない。そこで、AIS シミュレータによる通信状況の再現結果と比較を行うことで、さらなる検討を行う。

本シミュレーションを実施するに当たっては送信船舶のスロット選択に冗長性があることを考慮して、同一の航行データに対して 3 回のシミュレーションを行うこととした。3 月 20 日の受信記録に基づくシミュレーション結果を表 2 に示す。

表２　シミュレーション結果

日付	回数	他船が送信したメッセージ	衝突	混信	受信エラー数	受信エラー率
3/20	1	648401	751	8527	17805	2.75%
3/20	2	648492	518	7705	15928	2.46%
3/20	3	648478	750	7811	16372	2.52%

この表は、本船を着目船として周辺船舶が送信したメッセージ数、および「衝突して受信」、「混信」の発生回数をまとめたものである。「衝突して受信」、「混信」は、いずれも２通のメッセージが衝突を起こしたと仮定し、「衝突して受信」では１通、「混信」では２通のメッセージが受信エラーを起こしたとみなして受信エラー数および受信エラー率を計算している。3 回のシミュレーションを行ったところ、メッセージ衝突に起因する受信エラー率は 2.5%前後との結果が得られた。

この結果を受信記録の解析結果に重ねると、10NM 以内の受信エラー率と概ね一致している。このことから、受信強度低下の影響が非常に小さい範囲においてはメッセージ衝突に起因する受信エラーの影響が支配的であるといえる。

3.3　AIS の受信エラー率推定モデルに関する考察

以上の結果から、AIS メッセージの受信エラー率は基本的に、通信距離の増加に伴う受信強度の低下に起因する受信エラー率と距離に関わらず生じるスロット予約のプロところに起因するメッセージ衝突による受信エラーであることがわかった。以上の結果を模式的にグラフ化すると、図６中の折線となる。

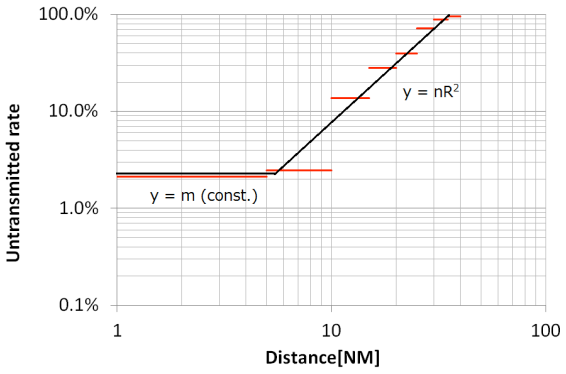


図６　AIS メッセージの受信エラー率推定モデル

4. 結言

実態調査に基づき、通信距離と AIS メッセージの受信エラー率の関係について検討を行った。その結果、得られた結論は次の通りである。

1. 通信距離の増加に伴う受信強度の低下に伴う受信エラー率は距離の 2 乗に比例して増加し、おおむね、15NM において約 20%となる。
2. スロット予約のプロトコルによるメッセージ衝突に起因する受信エラーは距離に影響を受けず、おおむね一定の値 2.5%をとる。

今後、

3. 1．については、文献(5)では、IEC 規格 IEC61993-2(6)に基づくアンテナ入力レベル 6dBμでパケットエラー率が 20%以下となる距離が約 20NM であるとの関係

そして、

4. 2．については、海域における通信量によってエラー率は増減するのか

などの点について、さらに検討する必要がある。

5. 参考文献

(1) 小林英一他：AIS 活用の展望―その概要と最近の応用例から―，日本船舶海洋工学会誌 KANRIN，第 47 号，2013.

(2) ITU: Technical characteristics for an automatic identification system using time-division multiple access in the VHF maritime mobile band，ITU-R M.1371-4，2010.（http://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/m/R-REC-M.1371-4-201004-I!!PDF-E.pdf)

(3) 畑耕治郎他：AIS シミュレータ，日本船舶海洋工学会論文集，第 6 号，2007.

(4) 畑耕治郎他：AIS シミュレータを用いた AIS 通信の評価-Class B AIS 搭載設置条件の影響-，日本航海学会論文集第 117 号，2007

(5) 福戸淳司他：AIS の実海域実験報告，日本航海学会誌 NAVIGATION，第 151 号，pp.73-78

(6) IEC: International Standard: Maritime navigation and radiocommunication equipment and systems – Automatic identification systems (AIS) – Part 2: Class A shipborne equipment of the universal automatic identification system (AIS) – Operational and performance requirements, methods of test and required test results (http://read.pudn.com/downloads145/doc/comm/633510/Documents/Class%20A--iec61993-2%7Bed1.0%7Den.pdf).

漁船搭載のAIS有効利用に関する考察

正会員○松本　浩文（水産大学校）　　正会員　古荘　雅生（神戸大学）
正会員　下岡　尚輔（水産大学校）　　非会員　小野　昌也（宇部興産海運㈱）

要旨

漁船が関係する衝突事故を減少させるためには、操船者が漁船の動静を早期に発見しなければならない。さらに、漁ろう作業に従事している漁業者が相手船の存在を早期に知るだけではなく、自船の存在を確実に周囲に対して明らかにすることが必要である。操船者が他船の操船の意図が明確に把握できない場合、あるいは操船者が自船の意思を他船に伝える場合には、船舶間のコミュニケーションを図るために国際無線電話を利用するが、相手船が漁船の場合は汽笛信号や発光信号に頼らざるを得ない。

そこで、本研究は、近年漁船にも利用されるようになったClassB AIS(Automatic Identification System＝船舶自動識別装置)に着目し、既にClassB AISを搭載している漁業者の意識調査と海上実態調査から、ClassB AISの現状と操船者及び漁業者がClassB AIS情報を有効利用する上での注意すべき課題について考察し、漁船海難の防止及びその安全対策に資することを目的とする。

キーワード：水産、漁船海難 、ClassB AIS

1.研究背景と目的

海上交通の安全を確保する上で、漁船の存在は切り離すことができない。「海難の現況と対策について（平成 23 年度版)」（海上保安庁）によれば、平成23年の漁船の衝突事故（233隻）のうち、人的要因によるものが224隻(96%)とされる。その内訳は、見張り不十分が173隻（77%)、操船不適切が32隻（14%)、居眠り運航16隻（7%）である。また、平成24年2月発表の「プレジャーボート、漁船及び遊漁船（日本船舶に限る。）の海難の分析と安全対策」（関係省庁海難防止連絡会議）によれば、平成 23年の漁船及び遊漁船における見張り不十分が原因の衝突海難（201 隻）のうち、漁業者が操業中や漁獲選別作業中に発生したものが全体の91隻(46%)を占めている。また、漁業者による相手船の初認状況は「視認していない」及び「衝突直前に視認した」が169隻（84%）と報告されている。

そこで、本研究では漁船に搭載されたClassB AISに着目し、既にClassB AISを搭載している全国の漁業者にアンケート調査を行い、漁業者のClassB AISに対する認識を明らかにする。次に、海上実態調査で得られたAISデータとレーダ映像をもとに、操船者及び漁業者がClassB AIS情報を有効利用するための課題について考察し、漁船海難の防止及びその安全対策に資することを目的とした。

2.調査方法

2.1　アンケート調査

調査対象の漁業者は、50人（隻）である。総務省電波利用ホームページの無線局等情報検索エキスパート検索を利用し、その検索条件は、無線局種別を特定船舶局、無線局の目的を漁業用、周波数を161.5～162.025MHzとした。アンケートは全19項目、解答方法は５択式である。質問事項は漁船の航行と操業の安心･安全に関わる内容（９項目）や、ClassB AISの機能に関する内容（４項目)、ClassB AISの将来性（普及）に関する内容（６項目）である。アンケートの最後に自由記述欄を加え、意見を集約する。

調査方法は郵送方式と、漁業協同組合を通じて集会を開き、その場でアンケートを記入する直接記入方式の２パターンである。

2.2　AISデータとレーダ映像

AIS データは、宇部興産海運㈱所属のセメント運搬船２隻（平成24年６月～８月）と水産大学校練習船天鷹丸（平成24年９月12日～10月22日）が受信したAISデータから、ClassB AISを搭載している漁船データを抽出した。抽出方法は、自船情報を１秒毎に出力するVDO（VHF data-link Own-vessel report）センテンスと他船情報であるVDM（VHF data-link Message）センテンスのうち、メッセージID18とID24（Ship type30：漁船）を使用した。また、水産大学校練習船天鷹丸では、AISデータと共

にレーダ画像を一定時間間隔で自動保存した。

3. 結果及び考察

3.1 アンケート調査

アンケートは計画通り実施し、26 サンプルを回収した。これは調査時において、ClassB AIS を搭載する漁船（特定船舶局）の 52%である。主な質問内容と結果を図１に示す。解答方法は「１:全く思わない」「２:そう思わない」「３:どちらでもない」「４:そう思う」「５：非常にそう思う」の５択方式である。

（主な質問内容）

① 航行安全に役立つものである。
② 安全操業に役立つものである。
③ 見張りの補助的なものとして利用している。
④ 他船の接近を知るアラーム機能があれば良い。
⑤ 視界制限状態時の安全確保に役立つ。
⑥ 位置（漁場）情報の送信に抵抗がある。
⑦ 自船情報が自動的に送信される計器である。
⑧ 漁船にも普及されるべきだ。
⑨ 今後も継続利用したい。

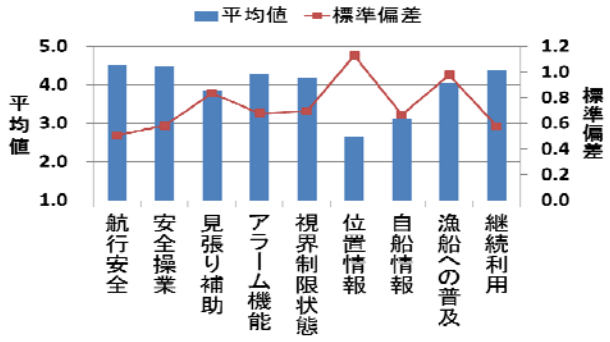


図１　主なアンケート結果

この結果から、漁業者は ClassB AIS を装備することで、航行及び操業の安全確保に役立つ計器として認識し、今後も継続利用を望んでいることが確認できた。また、他船の接近を知らせるアラーム機能や視界制限状態時に寄せる期待が大きいことも明らかになった。一方、位置（漁場）情報の送信は、図２に示す通り、54%（14 人）が気にならないと回答したものの、未だ位置情報の送信には慎重である。しかし、継続利用については「どちらでもない」（1 名）以外、「そう思う」（13 名）、「非常にそう思う」（11 名）と評価したことから、漁業者が ClassB AIS を搭載することで、漁業者が自己の安全を確保しようとする傾向がある。

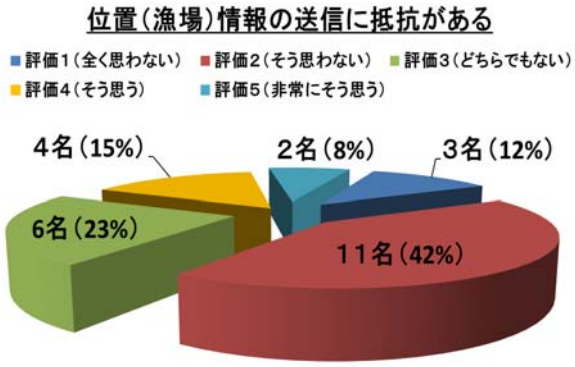


図２　位置（漁場）情報に対する認識

併せて、アンケート対象者のレーダ及び AIS データの表示（GPS プロッタとの重畳）状況も調査した結果、レーダを装備しているのは 24 隻（92.3%）と高いものの、AIS データを重畳表示している漁業者は 10 隻（38.5%）である。よって、漁業者の半数以上は ClassB AIS を装備しているが、自船情報を送信しているだけで、他船の AIS 情報は活用していないことが明らかである。

3.2 利用状況及びレーダ映像との比較

海上における調査で確認された ClassB AIS を搭載する漁船は、東シナ海での外国漁船が 129 隻と最も多く、次いで瀬戸内海（30 隻）、関門海峡東部海域（1 隻）であった。次に、東シナ海における調査では、AIS データから自船情報（VDO）と他船情報（VDM）から真方位及び距離を計算し、時刻をもとにレーダ映像と比較した。当時の海況は４であった。図３は船首方向の漁船３隻（実線）のうち、２隻の AIS データは受信できているが、近距離（実線）の漁船は受信できていないことが分かる。

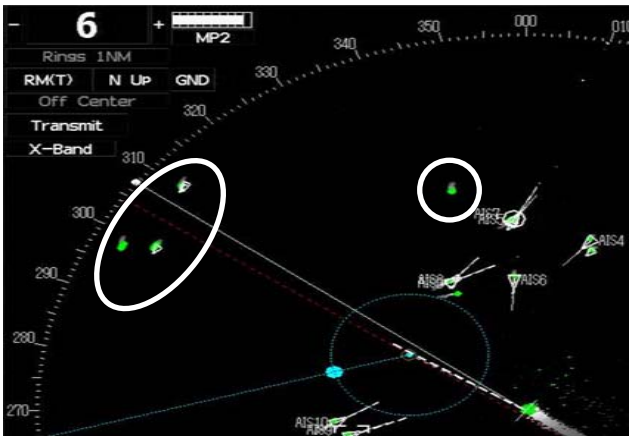


図３　レーダ映像-１

次に、図３の状況から 10 分後のレーダ映像を図４に示す。図４では船首方向の３隻のうち、10 分前に AIS データが受信できなかった漁船（5.2 海里から受信）と近距離の漁船（3.7 海里から受信）が AIS データを受信していることが分かる。

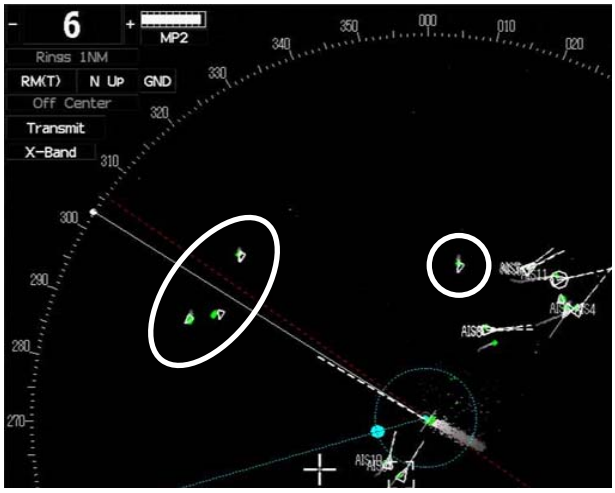


図４　レーダ映像-２（図３から 10 分後）

先行研究[1]から ClassB AIS の送信率は 99%以上であることが示されているが、受信に関しては、新井らの報告（２）図３及び図４の事例からも、漁船やプレジャーボートでは、アンテナ高さが低いことや船体の動揺、海面反射等のマルチパスによる干渉と思われる影響により、必ずしも近距離の電波が優位であるとは限らない事例が示された。

一方、図５はレーダ映像が消え AIS シンボルのみで他船が捕捉された事例を実線で示している。図５の左は漁船のレーダ映像（４隻）と AIS シンボルマークを示し、図５の右はその 10 分後の映像である。実線で囲む２隻の漁船はレーダ映像では確認できないが、AIS 情報と航跡がレーダでは探知できていない漁船の存在（自船から 5.1 海里）を示している。これはレーダに比べて波長が長く回折が大きい AIS の利点である。このような場合、大型船の操船者にとっては船体構造物が少ない漁船に ClassB AIS が装備されることは、漁船の存在を確実に把握できるので有効である。

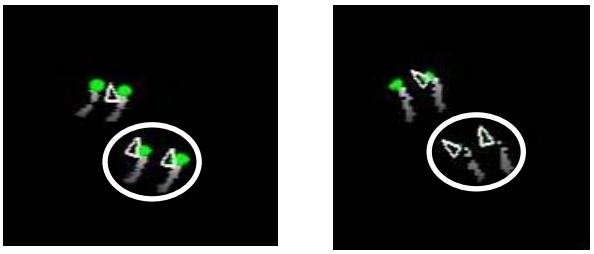


図５　レーダ映像-３

4. まとめ

漁船に搭載した ClassB AIS の受信状況に着目し、漁業者とその AIS 情報をもとに判断を行う操船者に対して、AIS 情報の注意すべき事例を示した。また、漁業者に対するアンケート調査から、漁業者が ClassB AIS を搭載することで、安全・安心を確保できるという期待が大きいことを明らかにした。漁業者は漁ろう作業に従事しながら見張りを行なうことを考えれば、他船に自船の存在を明らかにする ClassB AIS は衝突を避けるために有効な計器であると考える。しかし、AIS 情報だけに頼ることは危険であることが示唆された。例えば視界制限状態での航行中は、ClassB AIS の機能を生かすには対地速力を２ノット以上保つことも必要であろうが、あくまで、周囲の状況も考慮したうえで判断しなければならない。その適切な判断には漁業者自信が ClassB AIS の機能と特徴を理解することが必要である。

一方、操船者は漁船に装備された ClassB AIS の情報をレーダ映像とともに重畳し操船判断を行う際、ClassB AIS は ClassA AIS に比べ、送信出力や送信方式、対地速力による送信間隔の違いや UTC との同期ずれといったシステム上の特徴を理解するだけでなく、アンテナ高さや船体構造物の違いなどといった相手船の特徴や海況によって考えられる影響を考慮する必要がある。また、今後、ClassB AIS の漁船への普及を予想するならば、このような個々の事例を操船者や漁業者に対して広く提供することが、漁船海難を防止するために重要である。

5. 参考文献

(1) 丹羽康之,福戸淳司他：AIS 情報を用いた小型船用見張り支援システム,日本航海学会論文集, Vol.122, pp.35-43, 2010.3.

AIS 自船局の航海履歴に着目した航海支援システムの提案

正会員〇浦上　美佐子（大島商船高等専門学校）　正会員　若林　伸和（神戸大学）
正会員　本木　久也（大島商船高等専門学校）

要旨

本論文では、航海支援の取り組みの一つとして、自船の AIS 局が送受信した自船の航海に必要であった AIS 航海履歴を蓄積型プローブとして捉え、その蓄積されたプローブ情報に付加価値をつけ、航海支援情報として自船や情報共有可能な船間で活用する方式を提案する。そして、本提案方式の有用性を評価するために、AIS 陸上局で受信した神戸大学実習船深江丸の AIS 航海履歴の調査、および、深江丸が自局で送受信した自船の AIS 航海履歴の調査を実施した。本稿で定めた支援達成度基準によれば、提案方式は一定基準を満たし、今後さらなる工夫によって有用性向上の期待が持てる。

キーワード：通信、航海履歴、AIS、プローブ情報システム、航行支援

1. はじめに

陸上 ITS 分野において、走行車両そのものをセンサとしてとらえ位置情報等の動的情報を取得して、交通把握を行うことをプローブ技術と呼ぶ[(1)(2)]。そのプローブ情報の取得スピードにより、指定した時間ごとに情報取得をするリアルタイム型プローブと利用者が好きな時に情報を提供する蓄積型プローブといった考え方が存在する。筆者らは、海上において、特定の船舶に対して搭載義務化されている AIS（船舶自動識別装置）はプローブ情報システムの一つであり、AIS 陸上基地局や AIS 船舶局で得られる AIS 情報は、リアルタイムプローブであると位置づけることができると考えている。なぜなら、AIS は、船舶名等の静的情報や、位置（緯度経度）、速力などの動的情報、海上保安庁の AIS 陸上局からの気象・海象情報や安全情報といったプローブ情報を昼夜問わず検出し、船舶局においては送受信、海上保安庁以外の AIS 陸上局においては受信をしているからである。しかし、プローブ情報システムのサーバとして AIS 陸上基地局を利用した場合、スロット欠損による損失の心配や伝搬距離の制約で広域をカバーするための複数局設置費用も高額となるため、一般利用には負担金が発生する場合が多い。

そこで本稿では、自船の AIS 局が送受信した自船の航海に必要であった AIS 航海履歴を蓄積型プローブとして捉え、その蓄積されたプローブ情報を高度にし、航海支援情報として自船で活用する方式を提案する。将来的には、情報共有可能な船間で活用することも検討する。そして、本提案方式の有用性を評価するために、AIS 陸上局で受信した神戸大学実習船深江丸の AIS 航海履歴の調査、および、深江丸が自局で送受信した自船の AIS 航海履歴の調査を実施した。

2. プローブ情報システム

プローブ情報システムには、図 1 に示すように、自動車をセンサとして用いるプローブカーや人間をセンサとして用いるプローブパーソンというアプローチがある。近年、陸上における ITS（高度道路交通システム）分野ではプローブ情報システムへの関心が高まっており、自動車をセンサとして用いるプローブカーシステムの場合、実際に走行している自動車から得られた情報（車両位置、時刻、速度・加速度、ワイパーON/OFF 等）を支援用のコンテンツとして利用するものでる。このシステムは、道路に取り付けられたセンサから交通情報を生成する VICS（道路交通情報通信システム）と比較して、理論上、車両が走行する全道路の交通情報を生成することが

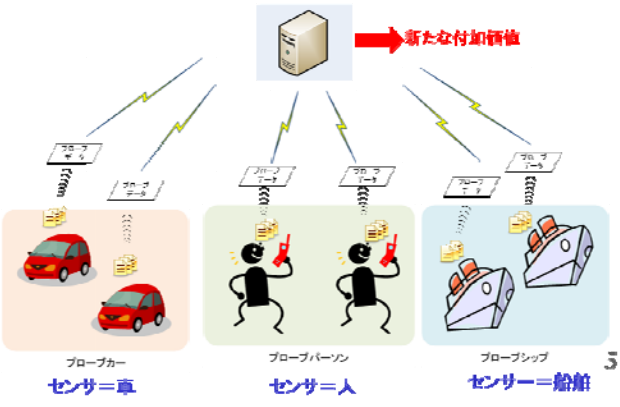


図 1　プローブ情報を利用したシステムの概念図

可能となるメリットがある。その一方で、各センサ（車や人など）からの情報収取のための通信部分にコストがかかることや、各センサ情報として得られる各個人の情報の公表や利用について、個人情報保護の問題が存在する[3]。

3. 海上におけるプローブ情報システム

陸上におけるプローブ情報システムは、海上においては既にプローブシップシステム（図1参照）として活用されており、リアルタイム型プローブの航行支援システム[4]として実用可能状態となっている。筆者らがこのように考える理由は、(1)特定の船舶に対してAISの搭載義務化されていること、(2)非搭載義務船向けにも無線従事者が不要な簡易AISの普及が勧められていること、(3)船舶から静的・動的情報、航海関連情報・安全通報など主なプローブ情報として含まれていること、(4) 陸上におけるプローブ情報システムの課題である通信部分も含めてAISにシステムとして組み込まれていること、を挙げたい。これらのことは、船舶設備規定の第24条で定められている。

このようにAISをプローブ情報システムとしてみたとき、情報価値が高い安全対策や運航効率を目的として活用され始めている。例えば、海上保安庁において航行船舶のリアルタイムな位置把握や安全通報による海上交通行政での活用、海洋台帳での交通量把握[5]、輻輳海域での事故半減のための安全システム[6]、海の ITS（高度海上交通システム）[7]でもAIS が利用されている。また、海賊事件の地理的分布特性把握のための防犯面からの解析[8]、内航船の効率的航海へのアプローチ[9]等にも利用されている。

しかしながら、これらの事例は、陸上局または衛星局から取得したリアルタイムなAIS情報を記録し利用しているものであり、自船のAIS局が収集した情報を蓄積し自船のために利用したものはない。また、自船のAIS局が収集した情報をリアルタイムに陸上局等で共有することを考えた場合、通信コストにおける費用対効果を考えると難しい。さらに、BtoBやBtoGでAIS情報を扱う場合、その情報を取り扱うための管理費用発生や、加工した情報を受取るための通信設備やそれに関わる費用発生等があり、一般利用は未だ難しい。

4. 提案システムの特徴

本論文で提案するAIS自船局が蓄積型プローブとして、自船のAIS航海履歴を用いて航海支援情報を提供する方式といったセルフマネジメントを実施する場合は、(1)自局で取得した自船のAIS航海情報は、自ら蓄積するため無料であること、(2)AIS陸上局や他船局からではスロット衝突の問題でデータ欠落がある場合も考えられるが[10]、この問題は発生しないこと、(3)自船が自船の航海履歴を利用するため、法律上の秘密の保護の問題[11]は発生しないこと、(4)自船以外と情報共有する場合は、帰港後に無線LAN 等のブロードバンド回線網に切り替えれば実現可能であること[12]、といったメリットが考えられる。なお、本稿では出来る限りAISの活用検討をしているため、航海支援のための航行警報[13]との連携については言及しない。

本稿で航海支援を行うための支援評価基準として(1)AIS 航海履歴が欠損なく受信できること、(2)航路確定のための気象・海象や管制信号情報等の安全関連情報が正しく受信できること、と定めた。

5. AIS航海履歴による分析と活用法の提案

5.1 AIS陸上局によるAIS航路履歴

神戸大学海事科学部のAIS陸上局で受信した深江丸の出航時の航路（4種類）の位置情報（緯度経度）を図2に示す。なお、AISから得られるプローブ情報はAISで取得できる全情報を指すことが出来るが、便宜的にここでは位置情報とするため、位置情報を中心点とした円で可視化した（GoogleMaps利用）。

可視化したことにより分かったことは、(1)データ欠損が複数存在すること、(2)伝搬距離が観測日によって異なるため受信（記録）範囲が異なること、(3)気象・海象状況が同程度の場合、コースラインは若干異なるが、変針点などはほぼ同じであることが分かった。

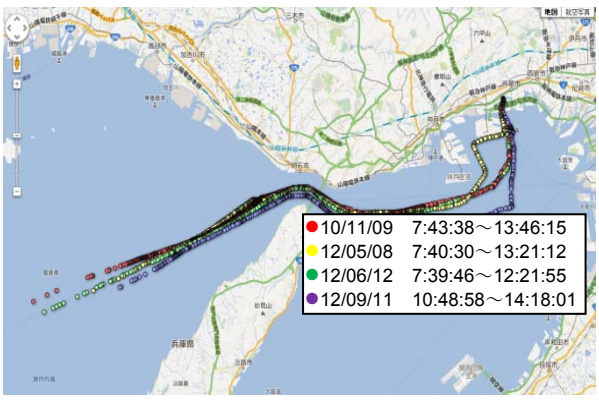


図2　AIS陸上局による深江丸AIS航路情報

5.2 AIS 自船局による AIS 航海履歴（航路履歴と安全通報情報）

図 3 は、深江丸が自船局で取得した自船の AIS 航海履歴である。

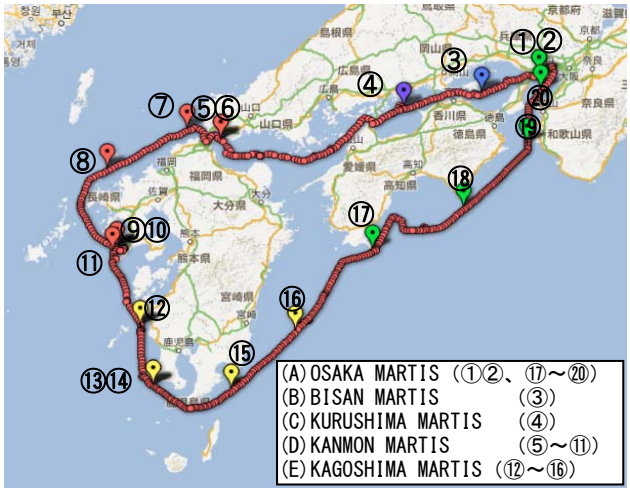


図 3　深江丸の AIS 自局による AIS 航海情報の一例（航路履歴と宛先指定一般情報通報）

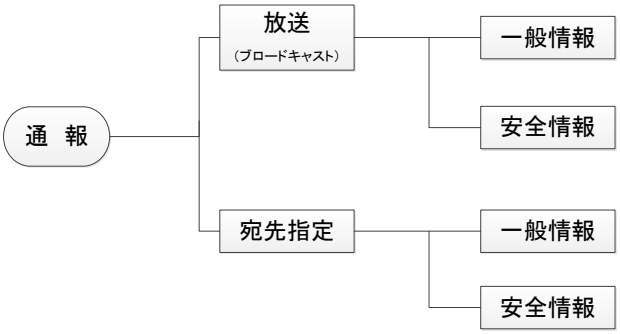


図 4　陸上 AIS 局（海上保安庁）の通報フロー

まず、図 3 の航路履歴に着目する。2012 年 8 月 30 日に神戸大学桟橋を出航し、9 月 1 日に長崎入港、9 月 4 日に長崎を出港し、9 月 6 日に帰港した際の AIS 航路図である。本船で受信した AIS 情報には、5.1 節の AIS 陸上局の調査結果と比較して欠損データは認められなかった。

次に、通報履歴に着目する。図 3 の①～⑳に、海上保安庁の AIS 陸上局から深江丸が宛先指定バイナリ通報（Message ID：6）[14]を受信した時の船位置を示す。本航海中に受信したメッセージは大きく分けて三種類であった。一つ目は、Weather Information で、20 回中 13 回（①、③～⑧、⑮～⑳）であった。気象、海象情報として、風速・風向、潮流があった。なお、OSAKA MARTIS の場合、 OSAKA VTS や TOMOGAHIMA からの情報発信も含まれていた。二つ目は、Information で、20 回中 1 回（②）の海上交通センターからの取組み紹介情報であった。三つ目は、Warning で、20 回中 3 回（⑨～⑪）の停泊中の警告情報であった。

このように航行中の気象・海象情報は、欠損なく、AIS 航海履歴として蓄積されていることがわかった。その他、MessageID 8（一般情報放送通報）は、浅瀬等の情報、MessageID 12（宛先指定安全関連通報）は無し、MessageID 14（安全関連放送通報）は BISAN MARTIS から管制信号情報と KANMON MARTIS の特定航法や追越しに関わる注意情報があった。

以上の調査結果から、4 章で設定した支援達成度基準を満たしていることを確認することができた。

6. おわりに

本稿の調査結果より、自船 AIS 航海履歴は、陸上 AIS 局と比較して欠損なく受信可能であること、気象・海象や管制信号情報などの安全関連情報も正しく受信でき、本稿で設定した航海支援達成度基準を満たしていることを確認することができた。このことにより、AIS をプローブ情報システムとして捉え、自船の AIS 航海履歴を蓄積型プローブとして高度にし、航海支援情報として活用するシステム開発に取り組んでいきたいと考えている。

具体的には、自船の航海履歴の中から、航路を確定する変針点を精度よく読み取ることができ、ブロードキャストで受取る安全情報の中から自船に必要な情報のみ抜き出すことができれば、提案システムを用いて、自船で取得した自船の AIS 航海履歴を元に、自船の航路履歴（変針点の取り方や気象・海象との関係）が正しかったのか、改善点があるのか等の確認ができる。さらに、蓄積された過去の AIS 航海履歴（現在位置及び安全通報情報）を基に簡易なウェザー・ルーティングへと発展させていくことも考えられ、航海支援が可能となるといえる。現在、AIS の安全通報情報は沿岸航行する船舶でなければ伝搬距離の問題で受け取ることが出来ないが、将来的に衛星 AIS が容易に利用可能となれば、全 AIS 搭載船で利用可能となるといえる。さらに、情報共有可能な船舶同士で、航海履歴を共有することにより、船舶間でも活用可能な支援システムへと発展させていきたい。

7. 参考文献

(1) プローブ情報の利活用による道路交通情報の高精度化に関する調査検討報告書： 総務省, 2009.3.

(2) 牧村和彦：プローブデータに基づく交通状況の予測，国際交通安全学会誌，Vol.31，No.1，pp.31-38，2006.6.
(3) 原田昇・吉井稔雄・牧村和彦：プローブデータを取り巻く動向と課題(2005)，http://www.transport.iis.u-tokyo.ac.jp/PDFs/2005/2005-007.pdf，2013.2.10.
(4) AISを活用した航行支援システム(海上保安庁)：http://www.kaiho.mlit.go.jp/syoukai/soshiki/toudai/ais/ais_index.htm，2009.10.
(5) 吉川貴子:海洋政策支援情報ツール(海洋台帳)の構築，平成24年度海上保安庁海洋情報部研究成果発表会講演予稿集，http://www1.kaiho.mlit.go.jp/GIJUTSUKOKUSAI/KENKYU/happyo/2012/h24o02.pdf，13.3.10.
(6) 海上技術安全研究所：ふくそう海域での事故半減を目指すICTを活用した新たな安全システムの構築報告書，2012.3.
(7) 秋田務：21世紀の交通技術戦略から～海のITS構想について，日本航海学会誌Vol.145，pp.29-32，2000.9.
(8) 渡川真規・古荘雅生・若林信和・小林英一：地理情報システムを用いた海賊事件分析，平成24年度秋季講演会予稿集，http://members.j-navigation.org/doc/JIN127-1.pdf，2013.3.10.
(9) 高嶋恭子：内航商船に対するウェザー・ルーティングについて（東海大学海洋学部海事研究プロジェクト研究報告第2号より抜粋)，http://www.ymf.or.jp/wp-content/uploads/60-8.pdf.2013.3.
(10) 山本淳・田中隆博・山本多津人：AIS(船舶自動識別システム)を利用したVHF伝搬の観測，海上保安大学校研究報告,Vol.49(1・2)，pp.21-32，2005
(11) 鈴木治・田中友規・浪江宏宗・藤井肇：海上交通流把握のための陸上と船からのデータ収集システム,日本航海学会誌,Vol.123，pp.111-117，2010.9
(12) 浦上美佐子・幸田三広：自律的無線ネットワークによる被災情報提供システム，消防防災科学技術研究推進制度研究成果報告書（平成20年～22年度)，2011.
http://genome.ib.sci.yamaguchi-u.ac.jp/wlan2/xoops/
(13) 田中弘之・阿部正志・平出昭夫・出合好美・長野伸次・宮井義裕・柴田和宏・石原健一郎・木村信介・藤澤豪・藤田雅之・山本正・土橋一夫・岡田武男：航行安全情報，海上保安庁海洋情報部研究報告第49 号,pp44-49,
http://www1.kaiho.mlit.go.jp/GIJUTSUKOKUSAI/KENKYU/report/rhr49/rhr49-a03.pdf,
2013.3.10.
(14) Recommendation ITU-R(Rediocommunication Sector of ITU) M.1371-4，2010.4.

船舶の航跡に対するトラッキング制御に関する研究
—AIS・GPS 情報を利用した制御について—

正会員○田丸　人意（東京海洋大学）　　正会員　庄司　るり（東京海洋大学）
正会員　今野　作　（東京海洋大学）

要旨

AIS に代表されるように、現在、海上を航行する船舶の様々なデータが容易に収集することが可能となった。これらデータを用いた海域の評価、航行支援など研究・実用化へ向けた取り組みが行われている。筆者らは運航者の負担削減を目的に、船舶の航跡情報を基に目標航跡を作成しトラッキング制御の検証を行った。

狭水道航行中の東京海洋大学練習船汐路丸を対象に、汐路丸船内制御システム、GPS、先端ナビゲートシステムに保存されている AIS 情報の 3 種類の目標航跡を作成し、その航跡上を航行するよう制御を行うこととした。

TK モデルによるシミュレーションと実船実験にて 3 種類の目標航跡に対してトラッキング制御を行い、制御の有効性と制御時の留意点を明らかとした。

キーワード：操縦性、トラッキング、最適制御、AIS、GPS

1. はじめに

現在、通信技術と計算機の発達により詳細な情報が大量に保存されている。AIS 情報を用いた海域の評価・航行援助システムへの応用など研究も進められている。

一方、三好等[(1)]により曲線ルートに対するトラッキング制御が検証され、その有効性が評価されている。そこで、本研究では、狭水道等航行する際に運航者の負担軽減のため、自動トラッキングシステムの構築の基礎研究として、東京湾内における AIS 等によって計測された実際の航跡を目標としたトラッキング制御について検証を行うこととした。

航跡の取得方法は次の 3 つの方法で行った。

１．本学の先端ナビゲートシステムにより観測された東京湾を航行する汐路丸の情報を利用する。

２．東京海洋大学練習船汐路丸船内には制御システムにより計測された航行中の情報を利用する。

３．汐路丸には制御システムとは別に船内設備として GPS が備え付けられており、そのデータを利用する。

本研究では、これら 3 種類のシステムによって蓄積された情報から同時刻、同海域を航行中のデータを抽出し目標航跡の作成、及び目標航跡に対するトラッキング制御を実施し、検証を行うこととした。

2. 制御方法と目標航跡

2.1　トラッキング制御

任意の航跡上を航行させるトラッキング制御を行う場合、目標の航跡から偏差、船首方位、ヨーレートを得る必要がある。図 1 にトラッキング制御の概念図を示す。X 軸を目標とする航跡とした場合、Y 軸方向が偏差、航跡上での船首方位と現時点での船首方位との差を θ [rad]とする。船速は V[m/s]一定で、θ が小さいとした場合、船体運動を式(1)のように近似することができる。

$$\left.\begin{aligned}\dot{x} &= V\cos\theta\\ \dot{y} &= V\sin\theta\end{aligned}\right\} \rightarrow \begin{cases}\dot{x} = V\\ \dot{y} = V\theta\end{cases} \qquad (1)$$

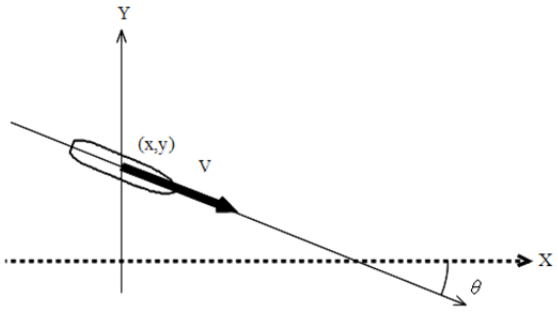


図 1　トラッキング制御概念図

また操縦運動モデルは TK モデルを使用すると(ヨ

ーレートω[rad/s])、操縦運動モデルは式(2)となる。

$$\begin{aligned}\dot{\theta} &= \omega \\ \dot{\omega} &= -\frac{1}{T}\omega + \frac{K}{T}\delta\end{aligned} \qquad (2)$$

式(1)と式(2)を組み合わせるとトラッキング制御モデルとして式(3)が得られる。

$$\begin{bmatrix}\dot{y}\\ \dot{\theta}\\ \dot{\omega}\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}0 & V & 0\\ 0 & 0 & 1\\ 0 & 0 & -\frac{1}{T}\end{bmatrix}\begin{bmatrix}y\\ \theta\\ \omega\end{bmatrix} + \begin{bmatrix}0\\ 0\\ \frac{T}{K}\end{bmatrix}\delta \qquad (3)$$

ここで各値は汐路丸を使用するので、追従性指数T=7.21[sec]、旋回性指数K=0.18、船速V=6.17[m/s]とした。

式(3)をまとめると下記の通りである。

$$\dot{X} = FX + G\delta \qquad (4)$$

ここで式(5)に示すコスト関数を最小にする舵角δを求めることができるので、この値を用いて制御を行った。

$$J = \frac{1}{2}\left(X^T S_f X\right)_{t=t_f} + \frac{1}{2}\int_{t_0}^{t_f}(X^T AX + B\delta^2)\,dt \qquad (5)$$

ここでS_f、A、Bはコスト関数における重み、制御変数への重みとなり、シミュレーションにより決定される。

シミュレーションでも式(2)に示したTKモデルを用いて検証を行う。

2.2 目標航跡の作成

2013年1月22日汐路丸は実験航海のため勝ち関桟橋を出港し館山湾に向かった。浦賀水道航路南航レーンを航行した際、観音埼沖で変針のため35度程度変針したが、この時の情報を目標航跡とすることとした。

先端ナビゲートシステムにて保存されたAIS情報から汐路丸の情報を抽出し航跡情報を作成した。この情報には位置情報、対地針路、船首方位が入力されているが、船速により更新時間間隔が異なる。

汐路丸制御システムでは、1秒間隔で、位置、船首方位、対地針路、ヨーレートが保存されている。

GPS情報は汐路丸船内のGPS受信機で計測されたデータを使用した。NMEAフォーマットの内GPRMCのセンテンスを抜き出し、そこから緯度経度、移動方向（対地針路）を抽出して使用した。

範囲は変針が始まる前の約600mと変針後約1200mまで位置情報から抽出した。

これ以降、先端ナビゲートシステムで計測された情報をAIS陸上局、汐路丸制御システムによって得られた情報を制御システム、汐路丸備え付けのGPS受信機で受信したデータをGPSと呼ぶことにする。

それぞれの航路の特徴を表１にまとめる。

表１ 3種類の目標航跡の特徴

	制御システム	AIS陸上局	GPS
間隔	1sec	2sec～10sec	2sec
対地針路	○	○	○
船首方位	○	○	×
ヨーレート	○	○	×

図２はその際の3種類の変針開始付近の拡大図のプロット図を示す。図のシンボルのうち青い●印は制御システム、▲印はGPS、赤い■印はAIS陸上局の目標航跡である。

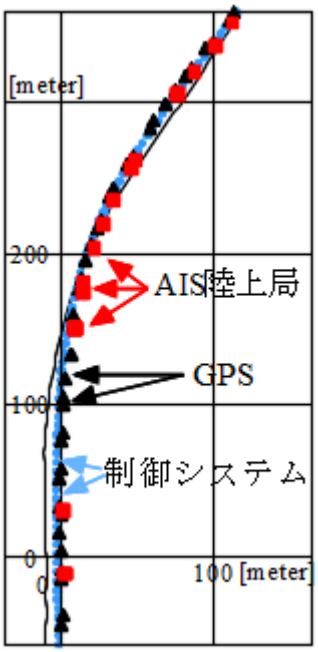


図２ 目標航跡のプロット図
（変針時の拡大図）

図２の各点には位置情報の他船首方位、ヨーレートが保存されている。なおGPSの船首方位は、対地針路と同値を使用することとし、ヨーレートについては対地針路の差を計測時間間隔の差で除して求め

た。

変針時のデータの内、船首方位と対地針路の差が最も大きい組み合わせは、制御システムで船首方位が165[deg]で対地針路が168.3[deg](差は3.3[deg])であった。AIS 陸上局の値の内、差が大きい組み合わせは船首方位が 159[deg]の時、対地針路が171[deg] (差は 12[deg]) であった。ヨーレートの内、最も大きな値は制御システムの目標航跡では1.46[deg/sec] 、AIS で0.67[deg/sec]であった。GPSの場合、対地針路の変化分と時間間隔で除して求められたが、2.0[deg/sec]が最も大きな値であった。

2.3 目標点の決定と制御変数の計算

目標航跡の任意の点と現在の位置から舵角が求められるので、目標航跡の内、どの点を対象とするか決めなければならない。ここでは目標とする航跡情報の選択は、船の位置から 50m 以上離れた点の内、最も近い点とした。

目標とする点を決定後、偏差は位置と目標値の対地針路から、船首方位と目標値点での船首方位の差を θ 、ヨーレートを得ることができるので、前項で述べられた制御方法で逐一舵角を求め制御を行った。

3. シミュレーション

シミュレーションは式(2)に示した TK モデルを用いて検証を行った。その航跡を図３に示す。外乱はなく速力 12 ノットとして開始している。青い実線が制御システムの目標航跡に対してトラッキング制御を行った場合、黒線が GPS による目標航跡に制御を行った場合、赤い実線は AIS 陸上局による目標航跡に対し制御を行った場合の航跡図を示す。

シミュレーション開始時、AIS 陸上局・制御システムの目標航跡に対する制御では、左回頭する傾向があることに対し、GPS はほぼ直線に近く、変針時も目標航跡上を航行していることが分かる。目標航跡各点に設定されたヨーレートの値が影響しているためである。一方、変針時においては、制御システム、AIS 陸上局の目的航跡では航跡の内側を航行している。

今回はこの設定値を用いて実船実験を行うこととした。式(5)で示した状態変数と制御変数に対する重みの値を次に示す。

$$S_f = A = diag\left[{}^{1}/_{1^2} \quad {}^{1}/_{(1\pi/180)^2} \quad {}^{1}/_{(0.1\pi/180)^2}\right]$$

$$B = \left[{}^{1}/_{(2\pi/180)^2}\right]$$

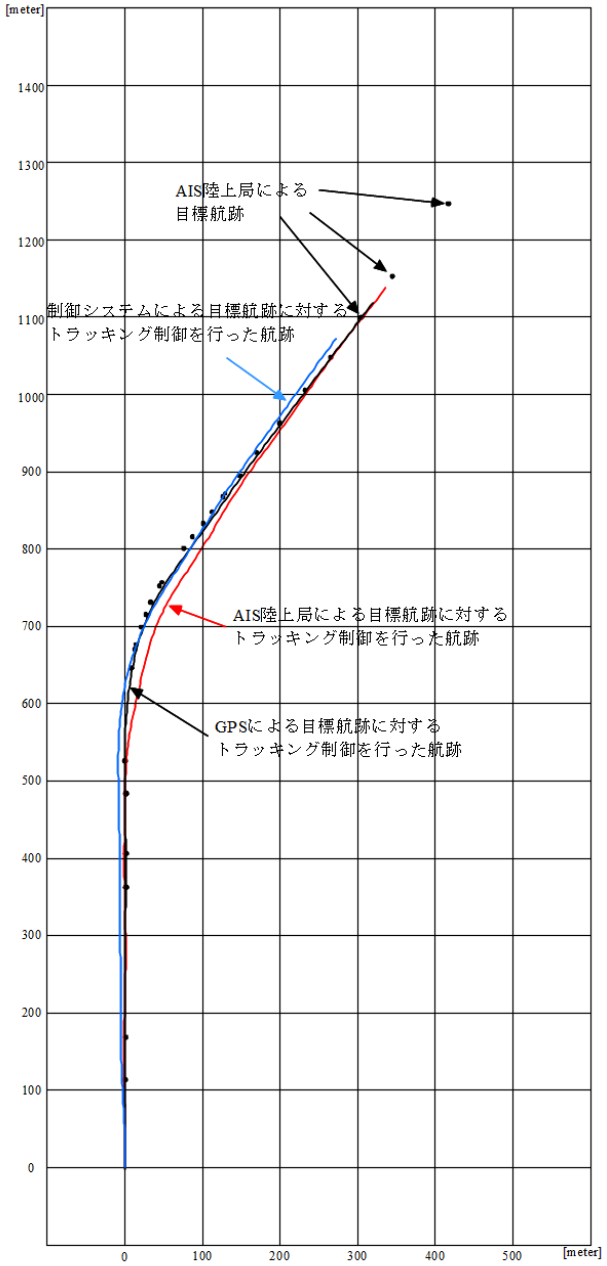


図３　シミュレーションによる
トラッキング制御航跡図

4. 実船実験

4.1 実験環境

2013 年 3 月 6 日に汐路丸実験航海にて実船実験による検証を行った。

今回想定した目標航跡は途中 35 度の変針を必要とする 1 マイル程度の航跡なので、その実験が可能な海域に移動し、初期針路を設定する。今回の実験では目標航跡毎に実験を行ったが、初期針路すべて

160[deg]で実験を開始することができた。制御用 PC と汐路丸制御システムのサーバ間の通信が行えていること、舵角指令値が正常に送られていることを確認し、舵の制御権を制御用 PC に切り替え実験が開始された。

実験当日は南西からのうねりと風が吹いており、初期状態では右前方から外乱をうけ、変針後はほぼ正面から外乱を受ける状態であった。

4.2 実験結果

実船実験では、精度そのものより目標航跡を変えた場合の制御への影響を確認する。航跡ルートを AIS 陸上局、GPS、制御システムの順に切り替えトラッキング制御実験を実施した。

その航跡図を図４に示す。青線が汐路丸制御システムの目標航跡を利用した場合、赤線が AIS の目標航跡を利用した場合、黒線が GPS の目標航跡を利用した場合の航跡図である。●印は、GPS によって得られた目標航路である。風とうねりの影響で実験開始後左へ流された状態で航行しているが、変針後は目標航路に近づけることができた。

AIS 陸上局目標航跡に設定した場合、直進時の目標地点の間隔が広いため、切り替え時の条件の変更が大きく舵を大きく取る事となった。GPS の目的航跡については、船首方位を対地針路と同値を使用したため、回頭に遅れが生じ、目標航跡の外側を航行することが確認できた。

5. まとめ

本研究では、AIS 陸上局、GPS、制御システムによって得られた情報を基にトラッキング制御用航跡図を作成し、その航跡に対する制御を行うことで有効性の検証を行った。

実験結果から制御システムによって作成された目的航跡を使用した場合、1[sec]毎に入力されかつ、制御に必要な情報が細かく入力されているので安定した制御が可能となった。この結果を基準とした場合、AIS 陸上局の目的航跡を利用した場合、変針前の更新間隔が長く、変針時は短いため情報間隔が異なる。今回の方法において、目標点の切り替え時に大きく舵を取る事があった。GPS の目標航跡を使用した場合、2[sec]の一定間隔で信号を受信できたものの、船首方位を得ることができないことから、変針時に目標ルートの外側を航行することになったと考えられる。

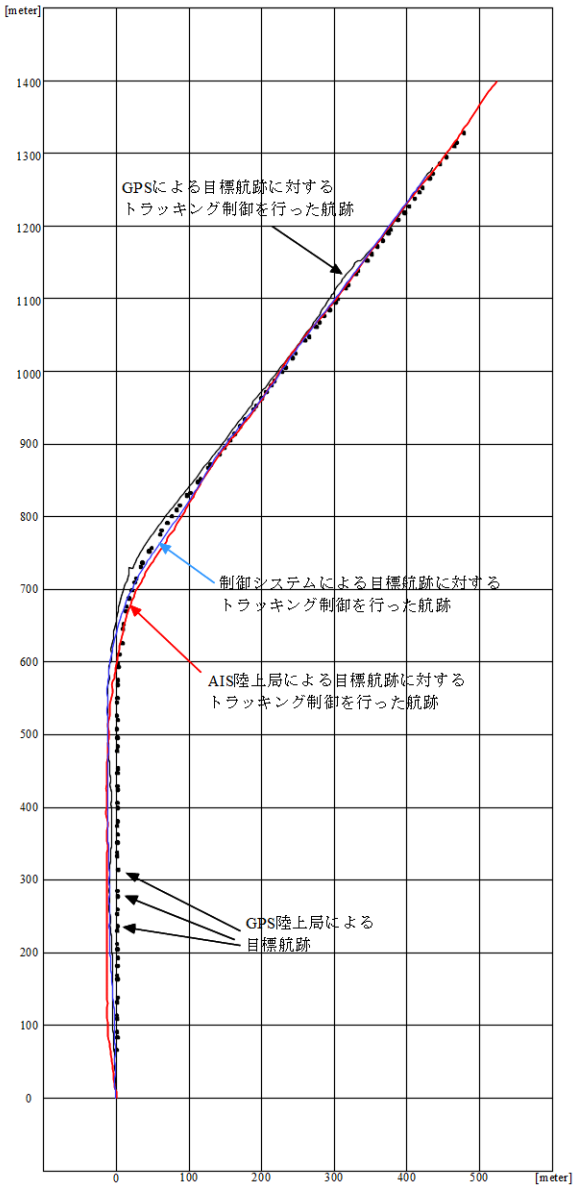


図４ 実船実験による航跡図

6. 参考文献

(1) 三好晋太郎・原洋輔・大津皓平：線形化モデルを用いた最適トラッキング制御に関する研究，日本航海学会論文集，Vol.117，pp.183-189，2007

小型船舶への無線電話の搭載と大型船との通信に関する考察

-船舶共通通信システム導入後の現状-

正会員○霜田　一将（航海訓練所）　正会員　鈴木　治（鳥羽商船高等専門学校）
正会員　吉田　南穂子（鳥羽商船高等専門学校）　非会員　木村　琢（航海訓練所）

要旨

船舶の船橋間の通信手段は総トン数 100 トン以上であれば国際 VHF が義務であるが、それ以外の小型船舶は任意であり、プレジャーボート等では国際 VHF を簡単に装備することが難しく、操船者同士の音声による意志疎通は難しかった。平成 21 年 10 月の電波法等の改正 (1) により、船舶の種別にかかわらず、比較的容易に国際 VHF を搭載できるようになった。そこで、漁業共同組合及びマリーナで訪問調査を行い実状を確認し、多く市販されているハンディ型の国際 VHF の機能を確認するため、航海訓練所の練習船「銀河丸」（全長 116m、国際 VHF 用アンテナ高さ 29m）と鳥羽商船高等専門学校の練習船「鳥羽丸」（全長 40m、国際 VHF 用アンテナ高さ 10m、DSC 聴守受信機用アンテナ高さ 9m）間で通信試験を行い、通達可能距離、DSC の機能を確認した。
キーワード：通信、船舶共通通信システム、国際 VHF、DSC、簡易型 AIS

1. はじめに

船舶は無線通信を行わなくても航行可能だが、近年、大型船ではレーダーの情報の他に AIS と VHF 無線電話装置（以下、国際 VHF）により情報を収集し、避航に利用している。小型船舶を含む総トン数 100 トン未満の船舶には国際 VHF の搭載義務はないが、船舶間の通信の共通化を目指した電波法等の改正（船舶共通通信システム）により、安価にかつ容易に搭載できるようになっている。制度面および機器の市販化により大型船と小型船舶との無線通信の可能性が大型船同様に可能となっている。そこで、本研究では 20 トン未満の小型船舶（以下、小型船舶）での通信の実状を確認するため制度調査および、マリーナ及び漁業共同組合で訪問調査を実施した。そして、市販されている最も安価なハンディ型の国際 VHF の通信機能を確認するため練習船を用いて通信試験を行った。

2. 船舶共通通信システムについて

国際 VHF はこれまで、総トン数 100 トン未満の船舶でも大型船同様の運航の船舶には任意で搭載され、操船者間の意志疎通などに利用されてきた。また、100 トン未満の船舶のうち、漁船では漁業無線局を中心としたグループ間の 27MHz 帯を中心とする通信装置が導入されている。一方、プレジャーボートもマリーナを中心としたマリン VHF があるが、諸外国にくらべて免許制度が難しく、装備品も高額で、携帯電話の普及もあって、ほんとど装備されていない。そのため、同じ海面利用者である、大型船と、漁船、プレジャーボート間での相互に通信可能なシステムが存在しない状況にあった。そこで、大型船と小型船舶間共通の通信の仕組として「船舶共通通信システム」が制定された (2)。

平成 21 年 10 月の電波法等の改正により、無線従事者免許制度と無線局の登録の制度が小型船舶向けに簡素化された。具体的には船舶の種別にかかわらず、比較的容易に国際 VHF の搭載を認めたものである。

具体的には簡易型 AIS と 5kW 以下のレーダーは無

図 1　銀河丸に導入したハンディ型国際 VHF
（DSC 付き、出力 5W）

線局としての申請は必要なものの、無線従事者免許証が不要、定期検査は必要。5W 以下の国際 VHF は無線従事者免許必要、定期検査不要である。また、5W 以下の無線電話機能だけの国際 VHF を操作できる第 3 級海上特殊無線技士(以下、3 海特)が、1 日間の認定講習会で取得可能な制度改正も行われた。

2.1 出力 5W のハンディ国際 VHF について

3 海特で利用でき、定期検査不要な、空中線電力 5W の国際 VHF は、すべて手持ち可能ないわゆるトランシーバ型（以下、ハンディ型）が数万円程度で市販されている。ほとんどが、大型船に搭載する国際 VHF と同等なチャネル数を実装し、小型軽量であり、1 回の充電で 8 時間以上連続使用ができ、身に着けることも可能で、防水性能があり、水面に浮かぶ機能を備えるものもある。小型船舶として登録されている舟艇であれば容易に免許の交付を受けられるようになっている。また、鳥羽商船高専の端艇に対しても、公的な機関からその設備の受有の確認書類によって免許状が交付された。その他、国際 VHF を搭載していた銀河丸でも、追加装置として装備することも可能であった。なお、遭難時の持出し用の無線設備の一つである双方向無線電話は 15、16、17ch のみが利用でき空中線電力は 0.8W である。

2.2 簡易型 AIS について

AIS 搭載船からは、決められた更新間隔で動的情報、静的情報が送信され[3]、簡易型 AIS も基本的には同じ仕組である。しかし、航海状態と静的・航海関連情報がない他、送信する AIS のメッセージ ID は大型船の AIS とは異っており、そのため、大型船のレーダーや電子海図表示装置で表示されないこともある[4]。

3.実態調査

大型船では AIS が搭載されるようになってから、積極的に国際 VHF を利用して、それまではほとんどが左舷対左舷で航過していたものを、右舷対右舷で行き会うこともするようになっている。一方、事前の意志疎通ができない漁船やプレジャーボートなど小型船舶の運航者は大型船との避航をどのように考えているかが分からない。そこでシステム導入以前の平成18年6月に漁船の運航者と練習船の航海士に調査を行った。

3.1 システム導入以前の漁船の意見

伊勢湾の入口部分の伊良湖水道付近で操業することが多い、答志島（三重県鳥羽市）の答志漁港、大答志漁港 68 隻の運航者に聞き取り調査を行ったところ、漁船は大型船と違ってすぐに避航でき、また大型船は十分に見えていることから、避航の心配より、知らぬ間に大型船に接触される事を心配して、た。

3.2 システム導入以前の航海士の考え（一例）

航海訓練所練習船「大成丸」の航海士 7 名に避航のために大型船のように事前に漁船との通信を望むかと質問紙調査をしたところ希望する（4 名）と希望しない（3 名）となった。呼びかけられるものならば呼びたいという気持ちと、どうせダメなら呼びかけるのは無用という気持ちが感じられる。

3.3 無線従事者資格取得者数の推移

2 海特と 3 海特の無線従事者資格取得者数を図 2 に示す。電波法等の改正が施行された平成 21 年度の第二級海上特殊無線技士の無線従事者資格取得者数は、3,891 人であったが、平成 22 年度は 6,134 人と 1.5 倍程度増加している。平成 20 年度の第三級海上特殊技士の無線従事者資格取得者数は、1,447 人に対し、平成 21 年度は 2,807 人と約 2 倍増加している[5]。

3.4 無線局登録数の推移

船舶共通通信システム導入前後の小規模の無線設備を搭載する船舶局である特定船舶局の登録数の推移を図 3 に示す。スポーツ・レジャー用では、平成 21 年度は 237 局増加したのに対し、平成 22 年度は約 4.4 倍の 1050 局増加した[6]。漁業用では、年々減少している。国際 VHF で大型船とも通信が可能な船が増えていることがわかる。

3.5 訪問調査

小型船舶利用者がどのような形で船舶共通通信システムを利用しているか調査を行った。

3.5.1 マリーナ

プレジャーボートの保管、管理等を行っている木更津マリーナ（千葉県木更津市）側に船舶共通通信システム導入後の状況について、聞き取り調査を行った。ここでは海岸局を設置、マリーナ所属の搭載艇と通信を行っている。呼出応答チャネルは外国船

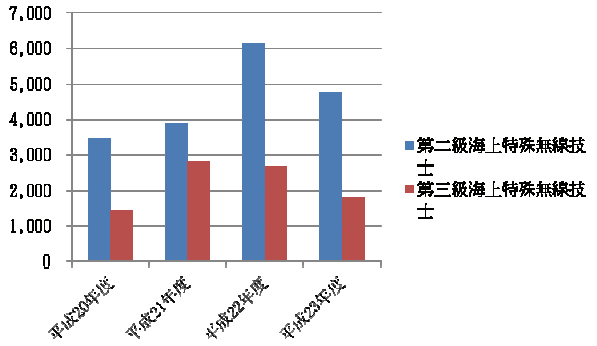


図 2　無線従事者資格取得者数の推移

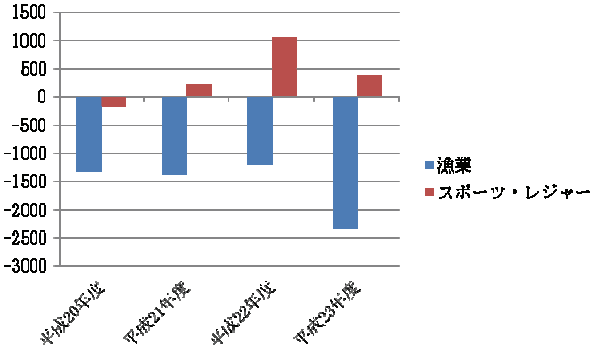


図 3　船舶局（特定船舶局）の登録数の推移

による船舶間通信に使われることが多い 77ch が割り当てられており、通話チャネルとして 86ch が割り当てられていた。主な通信内容は、所属船舶局に対する気象情報、位置情報の確認などである。なお、マリーナの海岸局には 16ch は割り当てられていない。マリーナ所属の船舶への割当てチャネルは、6、8-14、16、69、72、73、77、86ch であった。

3.5.2　漁協

漁船等の現状を確認するため、高砂漁業共同組合（兵庫県高砂市）へ訪問調査を行った。調査時の担当者は船舶共通通信システムや電波法の改正についての情報は持ち合わせていなかった。商船や巡視船と交信できるのは悪くはないとの回答が得られた。

4. 実船による通信試験

小型船舶に多く搭載されていると想定されている、ハンディ型の国際 VHF と大型船が搭載している据付型の出力 25W 機とどの程度の距離から通信が可能か、銀河丸が搭載しているハンディ型国際 VHF（スタンダードホライゾン HX851JL）と通信実験を行った。通信に利用した機器は表 1 のとおりである。音声通信は出力を可変できるが、デジタル選択呼出装置（DSC：Digital Selective Calling System　以下、DSC）は、それぞれの最高出力でのみの送信となる。

表 1　通信実験使用機器

船舶	機種	出力	高さ
銀河丸	DSC付き据付型（JHS-32B）	25/1W	29m
	双方向無線電話（JHS-7）	0.8W	20m
	DSC付きハンディ（HX851JL）	5/4/2.5/1W	-
鳥羽丸	DSC付据付型（JHS-770S）	25W/1W	10m

免許の関係上、銀河丸でしかハンディ型国際 VHF は利用できないので、鳥羽丸が大型船相当、銀河丸が小型船舶相当となる。実験は、2013 年 2 月 14 日、三重県津沖に錨泊中の銀河丸へ鳥羽丸で接近、各種通信を行った。なお波高は 0.5m 未満であった。通信が可能となる距離と通信状況を記録、銀河丸まで接近、錨泊した。錨泊中に通信機能の再確認を行った後、鳥羽丸が抜錨、機関を半速として、2 船間の距離を変化させて通信状況を確認した。なお、実船に電界強度測定器を接続することは困難であり、また設置済の国際 VHF は受信状況を示すメータ等はないため、スケルチ操作の有無および、明瞭度で評価を行った。

4.1　通信結果

鳥羽丸と銀河丸との通信可能距離を表 2 に示す。スケルチを通常の状態として、特段工夫せずに聞き取れる受信状態の最大限の距離を〇印で、スケルチを開放するなどして、音声がほぼ途切れずに聞こえる最大の距離を△印で示す。銀河丸の水面からの高さ 6m の甲板でのハンディ型国際 VHF では、3.5～6 海里の間は、フェージングが深く、時折、不明瞭なことがあったが、その後は表に示す距離まで連続して通信が可能であった。出力が 0.8W の双方向無線電話に比べて 5W の通信可能距離の伸びがそれほどでもない。理論的背景および、機器の不調も含めて調査中である。

5. 大型船と小型船舶との通信の可能性

鳥羽丸と銀河丸との間で利用したハンディ型国際 VHF では、5 海里離れても確実に通信が可能であった。このことは、過去に伊勢湾内を帆走中のカッターと 3 海里離れた鳥羽丸との間でマリン VHF（出力 5W）を使って通信できたことから推察し、同様に漁船及びプレジャーボートであれば、同様に数海里程度とは確実に通信が可能と想定できる。

5.1　国際 VHF 搭載の実状

大型船からは小型船舶と交信できるかどうか、判

表 2　鳥羽丸（アンテナ高さ音声用 10m、DSC 用 9m）の国際 VHF と銀河丸の各種国際 VHF との通信可能距離

銀河丸搭載通信機器	距離（海里）		高さ
	○	△	
ハンディVHF（5W）	5	10	6m
ハンディVHF（5W）	7	12	16m
双方向無線電話（0.8W）	4	6	6m
据付型　25W	17		29m
据付型　25W　（停泊中）	20		29m
据付型　1W	－	12	29m
DSC個別呼出（ハンディ）	3		16m
DSC個別呼出（据付25W）	17		20m

○：特段の工夫なしで受信可能
△：要スケルチ開放

表 3　漁船とプレジャーボートへの国際 VHF と AIS の搭載数（2013 年 3 月 9 日現在）

無線局種別	船舶局（特定船舶局）		漁業
地域	総局数	150MHz　搭載あり	AIS　搭載あり
関東	2823	86	4
東海	4543	74	2
近畿	5445	32	0
無線局種別	船舶局（特定船舶局）		スポーツ・レジャー用
地域	総局数	150MHz　搭載あり	AIS　搭載あり
関東	1679	1454	37
東海	877	665	30
近畿	582	462	31

断する指標がない。東京湾、伊勢湾、大阪湾を管轄する総合通信局に登録されている特定船舶局の数を、総務省電波利用ホームページを利用して調査した。その結果を表 3 に示す。プレジャーボートで無線局を開設している船の約 85% が国際 VHF を搭載している。一方、漁船はほとんど搭載が進んでいない。国際 VHF を搭載していても、小型船舶の場合「できる限り聴守すること」と規定されていることから聴守していない可能性と、聴守していたとしても、小型ゆえに機関運転の騒音などにかき消されて満足に聞こえず、応答されない可能性もあるが、これまでよりは船対船の運航者同士の意志疎通が容易になったこととがわかる。

6. まとめ

本研究では、新しく制度化された船舶共通通信システムについて、漁船およびプレジャーボートでどのように思われ、導入されているかを実地調査を含めて調査した。運航する船によって機器や通信への必要性や感じ方は違い、大型船のように AIS や無線を使った船舶運航がされているわけでないことがわかった。船舶共通通信システムを漁船運航者はレーダーを主に漁具等の確認に利用していること、船舶共通通信システムの制度自体を知らないことから見て､不要であるのに対し､プレジャーボート側では、無線従事者資格取得の講習会が定期的に実施され、便利であるものは資金に余裕があれば、導入しているという実態が掴むことができた。マリーナでの訪問調査では、「プレジャーボート側から大型船に呼びかける勇気はないのでは？」というのも聞かれた。海面利用者同士のコミュニケーションが始まったばかりで今後の利用促進には課題があることがわかった。今後、実際に小型船舶と大型船との間で通信確認を行い、それぞれの船に応じた使い方を提案し、安全航行に寄与したい。

謝辞

本研究の遂行に際し、訪問調査では答志漁港、大答志漁港、高砂漁業共同組合、木更津マリーナの皆様、練習船の運航およびデータ収集にご協力頂きました関係職員の方々、その他、関係各位に感謝致します。

参考文献

(1) 総務省：電波法施行規則の一部を改正する省令, 総務省令第 95 号, 2009. 10.
(2) 総務省：海上における船舶のための共通通信システムの在り方及び普及促進に関する検討会報告書, 2009. 1.
(3) 鈴木治：船舶通信の基礎, p. 22-25, 成山堂, 2008. 2.
(4) 鈴木治, 霜田一将, 三好敏夫, 尾形民雄, 鈴木秀司, 竹本孝弘, 瀬田広明：簡易型 AIS の小型船舶への導入と既存船での対応について, 日本航海学会誌, 181 号, p. 39-46, 2012. 7.
(5) 総務省：資格・試験, http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/field/denpa04.html, 2013. 3. 9.
(6) 総務省：用途別無線局数, http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/field/denpa02.html, 2013. 3. 9

小型自走模型船による漁船の ブローチング発生条件の検討

学生会員○四間　大作（北海道大学）　正会員　芳村　康男（北海道大学）
学生会員　中村　充博（北海道大学）

要旨

わが国では漁船の転覆事故が後を絶たない。とりわけ、旋網漁船は漁船の中で比較的大型であるにも関わらず、乗組員が犠牲となる悲惨な転覆事故が多い。

漁船の転覆原因は、船体中央が波の山に位置することによる復原力喪失、船首が波に突っ込むような形になるバウダイビング、斜追波中を航行時に発生するブローチングなどが挙げられる。特にブローチングは、古くから船乗りに恐れられている現象であり、近年その研究が盛んになってきている。しかし、具体的な発生条件やメカニズムは明らかになっていない。このブローチングは、斜追波中を高速で航行する場合に発生しやすいとされている。漁船はサイズにかかわらずフルード数が 0.4 を超えることから、ブローチングが発生しやすい傾向にある。

本研究では旋網漁船を例にし、種々の波高、船速、波向角で実験を行うことによりブローチングの発生条件の実験的調査を行った。また、横傾斜角を変えた実験を行い、ブローチングの発生確率を比較することで、横傾斜がブローチングに与える影響についても検討を行った。なお、この研究では小型模型船の自由航走実験手法についても検討を行った。

キーワード：漁船、旋網漁船、ブローチング

1. 緒言

わが国では大型の旋網漁船の転覆事故が後を絶たず、多くの乗組員が犠牲となっている。ブローチングは、古くから船乗りに恐れられている現象であり、転覆原因の一つであると考えられている。ブローチングの研究は元良などによる発生メカニズムの研究[(1)]や，近年は梅田らの研究[(2),(3)]がある。しかし、ブローチング発生時の波浪条件などは明確でないことが多い。

そこで本研究では、小型自走模型船を用い、本学の大型水理実験水槽にてブローチング発生条件の実験的検討を行った。また、船体に初期の横傾斜を付けた実験も行い、横傾斜がブローチングに及ぼす影響についても検討を行った。

2. 供試模型船

供試模型船には図 1 に示す縮率 1/35 の 135GT 型旋網漁船を使用した。その主要目を表 1 に示す。

ブルワーク下部の上甲板には放水口の設置が義務付けられているが、上甲板が水面近くにあるため海水が逆流し、上甲板が浸水する場合が多い。このような海水の逆流を防ぐため、漁船建造後間もなく放水口が閉鎖されることも少なくない。しかし、この場合､海水の打ち込みによる滞留水が排出されず、船体の大傾斜を引き起こし、大変危険な状態となる可能性がある。そこで、今回はこのような現状を踏まえ、模型船にあらかじめ設置されている左右合計 6 ヵ所の放水口をテープでふさぎ、全閉とした。

表 1 供試船の主要目

	実船	模型船(1/35)
Lpp	37.00m	1.057m
B	7.90m	0.226
D	3.22m	0.092m
d	2.90m	0.083m
Δ	483 t	11.056kg
GM	1.47m	0.034m

図 1　供試模型船

2.1 模型船の搭載機器

模型船は自走可能であり、操船は無線送信機にて手動で行う。模型船を自航させるために搭載した機器は以下の通りである。

a) 自航モーター/自航モーター制御装置
b) 操舵機用サーボ
c) 無線受信機
d) 慣性ジャイロ
e) データロガー
f) リチウムポリマー(6 セル)バッテリー

慣性ジャイロで、x 軸方向加速度 、y 軸方向加速度 、z 軸方向加速度 、Roll 角 、Pitch 角 、Yaw 角 、Roll 角速度 、Pitch 角速度 、Yaw 角速度 r をそれぞれ計測した。舵角は舵軸に連動するポテンシオメーターで計測し、これらをあわせてデータロガーに出力した。

模型船の操縦は曳航電車の上から、操船者が無線送信機で行った。以上の装置を模型船内に全て収納し、模型船の喫水、GM、慣動半径が所定の値となるようバラストウエイトを調整の上、固定した。

2.2 模型船の防水

模型船は実験中の転覆を想定して、図 2 に示すように、上甲板にアクリル板を張り水密とした。データロガーは、実験中の操作を容易にするため市販の密閉型プラスチック容器の中に封入し水密を確保した。

図 2 模型船の水密

3. ブローチング発生条件の実験的調査

本実験では、波向角、船速、波高をパラメーターとし、ブローチングの発生条件の実験的調査を行った。波は規則波として追波状態で行い、波向を一定にするため、目標進路χ_cを定め、無線操縦にて保針した。

3.1 実験条件

事前の実験から本供試模型船でブローチングが発生する船速、波条件をまず把握した。その結果、波長船長比λ/L=2.1 付近で頻繁に発生した。過去の研究[1]で、ブローチングは、船の長さの 2 倍程度の波長で発生しやすいと言われており、λ/L=2.1 は概ね妥当と思われる。本実験ではλ/L=2.15 で実験を行った。これは波長 2.26m(実船換算 79.1m)の規則波を使用した。また、予備実験で、ブローチングの発生確率が実船波高 4.0m と 5.0m で大きく異なったため、本実験で使用する波高は実船換算で 4.0m、4.5m、5.0m の 3 種類とした。波岨度H/λは、それぞれ1/20.0、1/17.7、1/15.6になる。

船速はブローチングの発生が予想される Fn=0.35、0.40、0.43 とした。これに対応する模型船の船速はそれぞれ 1.13、1.29、1.43m/s である。なお、Fn=0.43 は供試船の最高速度に相当する。

目標進路は長水槽で実験可能な範囲とし、χ_c=-5、-10、-15deg の 3 種類とした。

実験はそれぞれについて複数回行い、実験回数に対し何回ブローチングが発生したかを求め、ブローチングの発生確率としてまとめた。

3.2 実験結果の分類

実験結果は、波乗り発生の有無の 2 つに大きく分けることができる。波乗りが発生していないときは、すべての実験で操船が可能であった。一方、波乗りが確認されたものでは、操船不可能な場合があった。以上のことから、波乗りはブローチングの必要条件であることがわかる。今回は、計測した船体運動の中から、Pitch 角、Roll 角、Yaw 角速度、舵角に着目し、時系列データより、最大舵角を与えたときの Yaw 角速度 r を以下の 4 種類に分類した。

(a) r>0(波乗りなし)
(b) r>0(波乗り)
(c) r=0
(d) r<0

(a)は波乗りせず、波に追い越されながら航行し、舵が効き保針可能な状態。(b)は波乗りするが、舵が効き、保針可能な状態。(c)は波乗りし、最大舵角をもって保針に努めるも船体が旋回せず、保針不可能な状態。(d)は舵角とは反対方向の旋回が始まり、最大舵角を与えているにも関わらず、ますます保針方向から外れていき、保針不可能な状態である。本実験では、(d)をブローチングと定義した。

3.3 実験結果と考察

各実験結果を上記の 4 種類に分類し、各実験回数に対し何回ブローチングが発生したかを求め、ブローチングの発生確率とした。その結果を図 3 に示す。

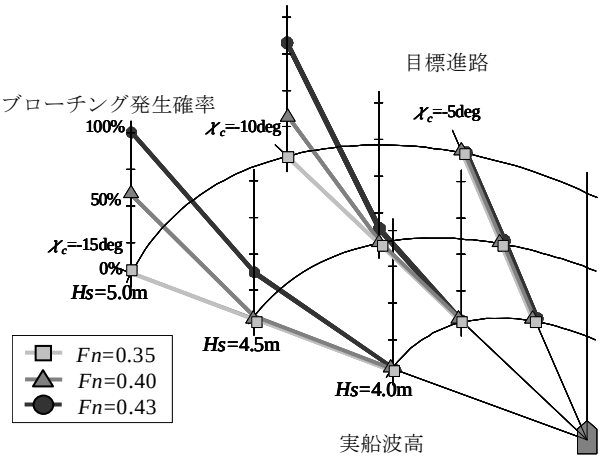


図 3 各実験条件におけるブローチング発生確率

この図より、目標進路、フルード数、実船波高が大きくなるにつれ、ブローチングの発生確率が高くなることがわかる。特に、目標進路χ_c=-15deg 、Fn=0.40、実船波高 H_s=5.0m で 60%、目標進路χ_c=-10deg 、Fn=0.43、実船波高 H_s=5.0m で 80%、目標進路χ_c=-15deg 、Fn=0.43、実船波高 H_s=5.0m で 100%と、ブローチングが高確率で発生した。これに対して、目標進路χ_c=-5deg や Fn=0.35、実船波高 H_s=4.0m の条件ではブローチングは発生しなかった。

船速、波高が大きくなるとブローチングしやすくなるのは、ブローチングの必要条件である波乗りがしやすくなるためと考えられる。

また、波向角が大きくなるとブローチングしやすくなるのは、波の粒子運動による回頭モーメントが原因であると考えられる。波乗り発生時、波の粒子運動によって回頭モーメントが発生する。波向角が大きいと、波頂線に平行となる方向のモーメントが大きくなり、これが更に波向角を大きくするためブローチングしやすくなると考えられる。

4. 横傾斜がブローチングに与える影響の調査

実際の船舶では、漁具の移動によって横傾斜が発生することが考えられる。そこで、船体に初期の横傾斜を付けた状態で実験を行った。

4.1 実験条件

船速は、前述のブローチング発生条件を調べる実験で使用した実船波高とフルード数のうち、比較的高い確率でブローチングが発生した Fn=0.40 と 0.43 に絞って実験を行った。波高と波長は先の実験と同様実船換算で 4.0～5.0m、波長船長比はλ/L=2.15 とし、目標針路はブローチングが発生し、ある程度の計測時間を確保できたχ_c=-10deg に固定し実験を行った。

横傾斜角は-5、0、+5deg とし、実験結果を比較した。

4.2 実験結果と考察

ブローチング発生確率は 3.2 節と同じ評価によって求めた。その結果を図 4～6 に示す。

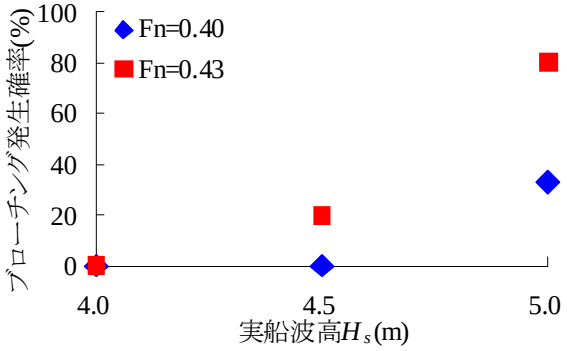


図 4 ブローチング発生確率ϕ=0deg

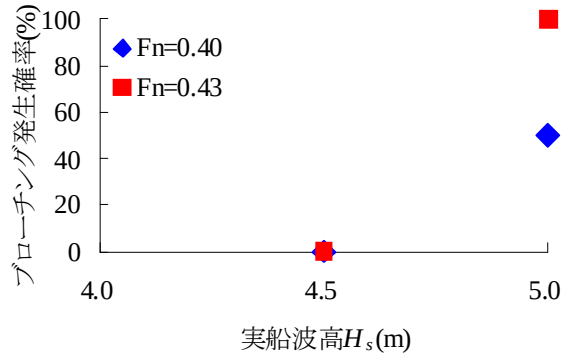


図 5 ブローチング発生確率ϕ=+5deg

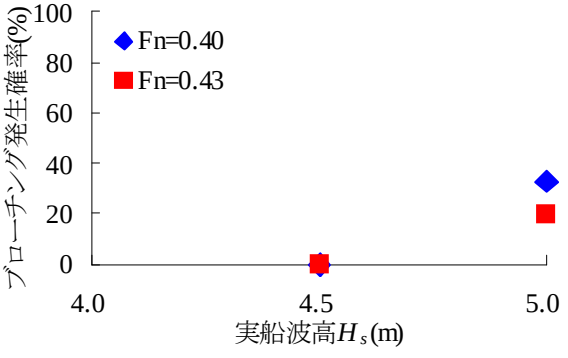


図 6 ブローチング発生確率ϕ=–5deg

図 4 と図 5 より、右傾斜(+5deg)させると横傾斜角 0deg に比べ、全体的にブローチングの発生確率が増加した。逆に図 4 と図 6 より左傾斜(-5deg)させるとブローチングの発生確率は減少する傾向にある。

船体に横傾斜角が付いた状態で直進すると、舵を切ったかのような運動をすることが知られている。今回の実験では、右傾斜をつけると左に回頭しやすくなるため、ブローチングが助長され、逆に左傾斜の場合は、ブローチング時の回頭と逆方向のモーメントによってブローチングの発生が抑えられたと考えられる。

5.まとめ

波向角、船速、波高が大きくなるほど、ブローチングが発生しやすくなることを明らかにした。また、本実験において目標進路χ_c =-5deg や実船波高 H_s=4.0m、Fn=0.35 ではブローチングは発生しなかった。

船体が横傾斜した状態で航行すると、ブローチングが発生しやすい条件となる可能性がある。そのため、漁具の適正な配置と確実な固縛が重要である。

参考文献

(1) 元良誠三, 藤野正隆, 小柳雅志郎, 石田茂資, 島田和彦, 牧岳彦: ブローチング発生機構に関する考察, 日本造船学会論文集, 150, pp.211-222, 1981.12.

(2) 梅田直哉: 新世代船舶非損傷時復原性基準の構築を目指して, 海上技術安全研究所報告, 第 10 巻, 第 2 号, pp.157-177, 2010.

(3) Umeda, N., Matsuda, A., Hamamoto, M., and Suzuki, S. : Stability assessment for intact ships in the light of model experiments, JMST , 4, pp. 45-57, 1999.

漁船と大型船の衝突海難に関わるデータベースの構築

正会員○田村　由佳（ABS Pacific）　正会員　篠田　岳思（九州大学）

要旨

船舶が関わる海難事故の多くは、安全に関する事象への誤認や誤判断、誤操作などの人的要因が関係している。発生頻度が高く被害が甚大である漁船と大型船の衝突海難に関わる人的要因を項目とした衝突海難データベースを構築し、2 船の見合関係における認知判断要因に着目して分析を行った。分析結果から対策の提案を行い、更にその効果を、対策が認知判断要因に及ぼす影響を考慮して検討を行った。

キーワード：事故、衝突海難、漁船、海難データベース

1. 緒言

船舶が関わる海難事故の多くは、安全に関する事象への誤認や誤判断、誤操作などの人的要因が関係している。近年、日本近海において発生した漁船と大型船の衝突海難が報道で大きく取り上げられており、一旦、海難が発生すると弱い立場である漁船側に甚大な被害が生じ、海上輸送の信頼性への影響が危惧される重要課題である。

研究では、漁船と大型船の衝突海難についてデータベースを構築し、IMO で承認された Formal Safety Assessment (FSA)のガイドラインに従って､潜在的な危険要因や被害の分析からハザードの同定を行った。更に分析結果から、衝突海難防止のための対策の提案と効果の推定を行った。

2.衝突海難データベースの構築と分析

衝突海難に関する人的要因を抽出するため、衝突の海難審判裁決録にバリエーションツリー分析法を適用した。バリエーションツリー分析法は、通常通りに事態が進行すれば事故に至らないという観点に立ち、事故に至る過程において通常とは異なる要因を変動要因として抽出し、事故の背後に潜む問題を分析し対策を策定する事後分析手法である。データベースは、裁決録から抽出された認知判断に関わる 73 の人的要因と、裁決録から得られる海難に関する事実、すなわち、海難発生場所や時間、季節、気象、海象、視界の状況、対象船舶の属性、当直状況などを項目としている。更に、見合関係における 2 船間の相対距離から、各過程で要求される認知判断要因「知覚」、「動静監視」、「判断」および「操船」の 4 つに分類してコード化を行った。

衝突海難データベースは 1998 年から 2008 年までに旧門司地方海難審判庁および門司海難審判所が公表した海難審判裁決 217 件を用いて構築した。

2.1　統計的分析

漁船と大型船の衝突海難は、門司地方海難審判所管轄内で 1997 年から 2007 年の年平均で 18.3 件発生しており、この種の事故が頻繁に発生していることが分かる。発生当時の天候は 62%が晴れで、悪天候や視界制限状態はハザードであるが主要因ではないと推察される。発生時刻は、漁船の出漁時間帯にあたる明け方から早朝、帰港時間帯にあたる夕方にピークが見られている。更に、事故発生時の漁船の状態は 80%が航行中で避航義務を有していた。

2.2　認知判断要因分析

認知判断要因では、「知覚」と「動静監視」過程での失敗が多く、特に漁船では知覚失敗が 70%ある。その背景要因は、「他の作業に気を取られる」と「見張り態勢の不備」が突出している。大型船では、知覚失敗は 40%程度で、判断や回避動作での失敗が多い。このように漁船の場合は知覚失敗、大型船の場合は衝突のおそれに気がつくものの回避動作を取らなかったり、取るタイミングが遅れたりして衝突に至るという異なる傾向が読み取れた。

2.3　対策の策定と効果の推定

データベース分析の結果、知覚失敗の影響が大きく、早い段階で知覚を補助する対策が有効であるという知見を得たので、漁船に簡易型 AIS を搭載するという対策を提案した。簡易型 AIS が知覚失敗要因に及ぼす影響を知覚失敗に関わる認知判断要因ごとに推定し、減少率を算出し対策の効果を推定した。

3.結言

バリエーションツリー分析法を用いて、衝突海難における人的要因を抽出し、2 船の見合関係と認知判断要因に着目したデータベースを構築し、その分析結果から、人的要因に着目した対策の提案とその効果について検討する手法の有効性を確認した。

東南アジア海域における海賊事件の地理的分析

正会員　渡川　真規（株式会社パスコ）

要旨

世界の海賊事件は 2011 年までの 3 年間は毎年 400 件以上であったが、2012 年は大幅に減少した。これは、増加していたアフリカ海域の海賊被害の減少に起因する。しかし、東南アジア海域の海賊事件は増加傾向にあり、2012 年は全世界の発生総数の約 35%を占めることになった。本研究では、東南アジア島嶼域の危険海域を明らかにするため、海賊事件の地理的分布と発生密度を示したハザードマップを試作した。

キーワード：事故解析、海賊事件、地理情報システム

1. はじめに

海賊による船舶への攻撃は、海運を妨げる行為であり、沿岸国のみならず世界経済に被害を及ぼす国際問題である。本研究では、日本商船も多く通航する東南アジアの危険海域を明らかにするため、地理情報システム(GIS: Geographic Information System)を用いた分析を試みた。

2. 海賊事件の発生傾向

2.1　世界の海賊事件の推移

世界的な海賊事件の発生傾向を概観するため、国際商工会議所(ICC: International Chamber of Commerce)の下部組織である国際海事局(IMB: International Maritime Bureau)の 2012 年次報告書[(1)]の統計を整理した。図 1 に 2008 年から 2012 年までの海賊事件の総数の推移を示す。

世界中の海賊事件は 2009 年から 2011 年までの 3 年で毎年 400 件以上もの被害が報告されていたが、2012 年は 200 件台まで減少した。アフリカ海域の減少が顕著であり、293 件（2011 年）から 150 件(2012 年)まで推移した。これは、ソマリア沖とアデン湾で展開された海賊対処活動や商船独自の防御対策による効果が表しはじめた結果と考えられる。

2.2　東南アジア海域の海賊事件の推移

一方、東南アジア海域の海賊事件は 2009 年から年々増加している。2012 年は 104 件と過去最悪の件数を示しており、全世界の発生総数の約 35%を占めることになる。図 2 に 2008 年から 2012 年までの東南アジア各国の海賊事件の推移を示す。特にインドネシア海域での被害増加が明らかである。

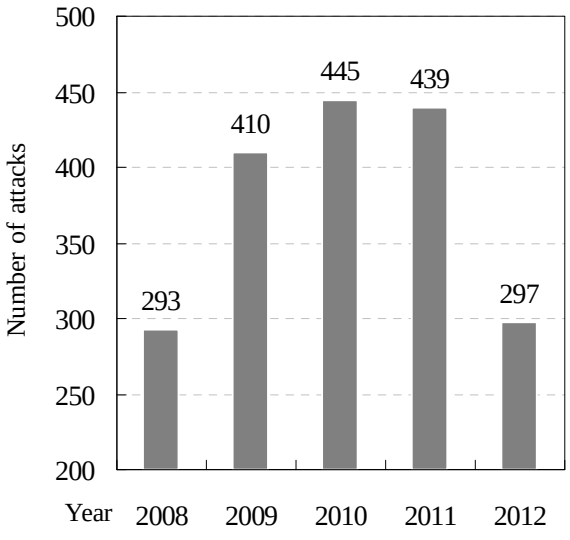


図 1　世界の海賊事件の発生件数

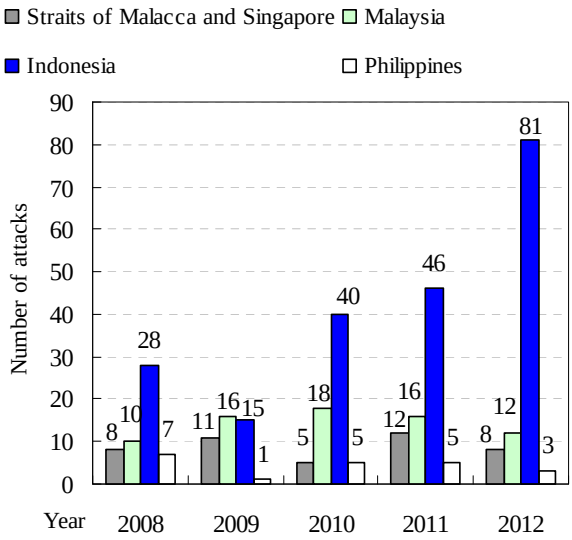


図 2　東南アジア海域の海賊事件の発生件数

3. 海賊事件の地理的分析

海賊事件の統計からは東南アジア海域においてインドネシアの被害増加が指摘された。しかし、インドネシアの管理海域は広大であり、統計数値のみで危険海域を把握することは困難である。そこで、GIS を用いて地理的な発生傾向を分析することにした。本研究では、2011 年および 2012 年の報告書から東南アジア海域の被害座標が特定できる海賊事件を対象とした。図 3、図 4 に各年の海賊事件から地理的分布と発生密度を重畳したハザードマップを示す。

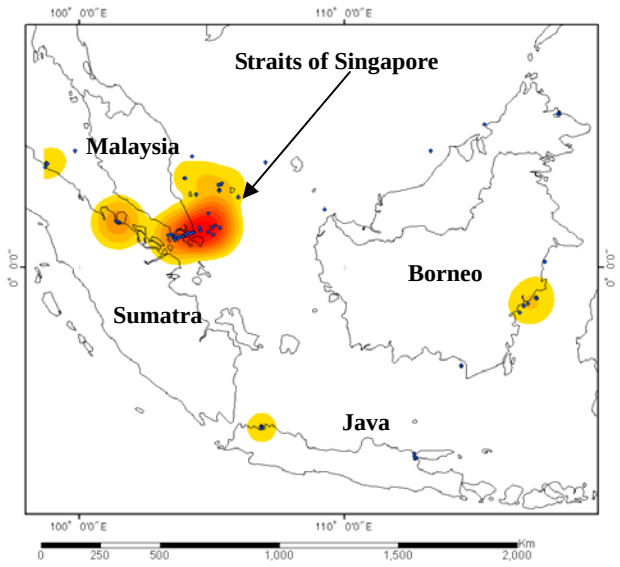


図 3　東南アジア海域の海賊事件の地理的分布（2011 年）

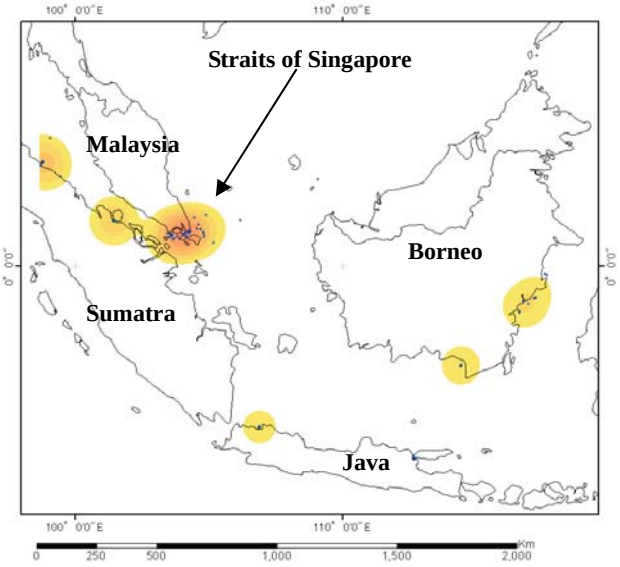


図 4　東南アジア海域の海賊事件の地理的分布（2012 年）

このハザードマップは先行研究[2]で提案した手順で作成している。まず、海賊による被害が発生した位置座標を地図上に投影することで、地理的分布を把握した。さらに、カーネル密度推定法を用いることで、海賊事件の発生密度を表現した。カーネル密度は発生密度が高い地域ほど濃く（レッドゾーンで）表示されることになる。インドネシア諸島を含む広範囲で事件が発生しており、特にシンガポール海峡周辺に被害が集中していることが視覚的に判断できる。

4. まとめ

世界の海賊事件の推移を概観するとともに、東南アジア海域の被害頻出エリアを示すハザードマップを試作した。先行研究では 2012 年上半期の分析に留まったが、新たに 2012 年下半期のデータを加えて分析した。提案法の高度化を目指し、事件発生時の季節や時間帯、被害状況の視点を加味することを検討している。

5. 参考文献

(1) ICC IMB. International Chamber of Commerce, International Maritime Bureau : Piracy and Armed Robbery against Ships Report, Annual Report 2012, pp. 3-19, 2013. 1.

(2) 渡川真規・古荘雅生・若林伸和・小林英一：地理情報システムを用いた海賊事件分析，日本航海学会論文集，No. 128，印刷中，2013. 3.

船体傾斜及び横揺周期モニタリングシステムの試作

正会員○濵地　義法（新日本海フェリー）　非会員　江崎　修央（鳥羽商船高専）
正会員　石田　邦光（鳥羽商船高専）　非会員　木村　佳嗣（鳥羽商船高専）

要旨

近年、カーフェリーやRORO船の荒天による大傾斜事故が続いている。カーフェリーやRORO船においては復原性を把握することが難しく、また、その具体的手法は確立されていない。この復原性が不明確な環境下で、運航者は自船の耐航性を考慮し、運航可否の判断を行っている現状がある。ブローチングやパラメトリック横揺れに対応するには、針路変更や減速が必要とされる(1)。本研究では船体傾斜角と横揺周期を常時モニタリングすることで、針路変更や減速などの効果を視覚化し、運航可否の判断材料を提供することを目的とした。

キーワード：情報処理、情報支援、復原性、船体傾斜、横揺周期

1. 研究背景

2009年、三重県熊野灘で発生した「フェリーありあけ船体傾斜事故」は関係者にとって衝撃的であった。また、最近でもRORO船の大傾斜による貨物損傷事故が発生している。これらの事故については既に各方面から調査、報告がされているが、復原力の大小も大傾斜の一要因であると考えられる。一般的に船舶の復原性を表す指標は船体重心：G と横メタセンタ：M との距離、すなわち「GM 」が用いられるが、カーフェリーでは積荷の大半が車輌で、その重量や重心は把握し難い。このため、カーフェリーの復原性について述べられた文献は乏しく、実務的な復原性算出の手法は見当たらない。

一方、船体の横揺周期はGMの平方根に反比例するという次の略算式がよく知られている(2)。

$$T=0.8B/\sqrt{GM}$$

T：横揺周期(sec)　B：船幅(m)

とはいえ、ストップウォッチ等を用いて計測された横揺周期は、ばらつきが大きく、到底、復原性の把握には活用できない。

そこで、本研究では復原性の把握が困難な大型カーフェリーやRORO船での運用を念頭に、船体傾斜及び横揺周期のモニタリングシステムを試作し、耐航性判断のサポートを試みた。

2. システムの構成

本システムの構成を図1に示す。船内にWebサーバとして、シングルボードコンピューター(Raspberry Pi)を設置し、直交する3軸の加速度を±3Gの範囲で検出可能なAnalog Devices製ADXL335を用いた加速度計を取り付けた。1 秒毎にローリング方向の加速度を計測、1024 個（約 17 分間）あるいは2048個(約34分間)のデータを周波数解析し、1分毎にUSBメモリのデータベースに記録する。

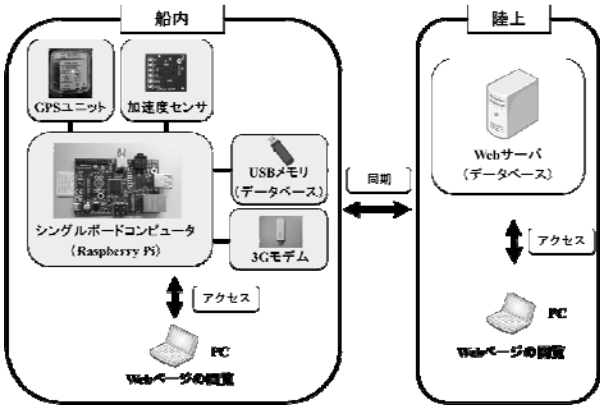


図1　システムの構成

船上での計測に先立ち、陸上の固定された場所にて計測、周波数解析の結果、ホワイトノイズが描かれた事を確認した。本装置の傾斜角測定精度は約0.1度である。

PCやPDA（携帯情報端末）から、このシステムにアクセスする事で情報を閲覧する。例えば船長が寝室からでもリアルタイムに情報にアクセスする事が可能となる。また、Raspberry Pi に 3G モデムを接続し、10 分毎にデータベースを同期させることで、陸上等､他のPCからもこのWebページの閲覧が可能である。

横軸に時間、縦軸に傾斜角(deg)と横揺周期(sec)を表示し、それぞれ任意の軸スケールに瞬時に変更できる仕様とした。

3. 実船でのモニタリング

2013年2月～3月の１ヶ月にわたり、苫小牧、秋田、新潟間を主な航路とするフェリーしらかば、総トン数20,563ton、全長195.5m、幅29.4m（図2）の操舵スタンド後部に本システムを搭載し、モニタリングを実施した。

図2　フェリーしらかば

図3はモニタリング結果の一例である。苫小牧港を出港後、バラストを排水しながら航行している際のグラフで、バラストの排水が進むにつれ、横揺周期（緑線）は長くなっている。すなわち、復原性が低下していることが伺える。

このように船体傾斜と横揺周期をモニタ上に重ねて表示することで、その時系列変化を容易に比較する事ができる。荒天時には波向、波高、船速、針路により船体動揺や横揺周期が変化し、航行中、停泊中、錨泊中などの違いによっても描かれるグラフに特徴が見られた。

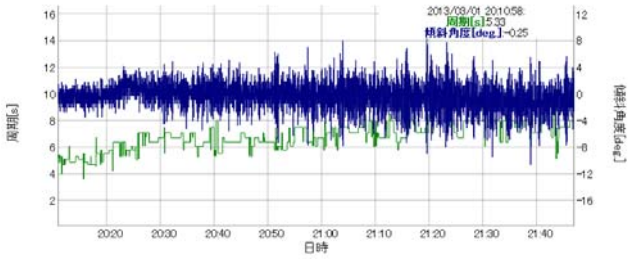


図3　船体傾斜及び横揺周期の表示例

本システムで描かれた横揺周期は、パワースペクトルの最大値を周波数解析することで抽出しており、船体固有の横揺周期であるとは言えない。

とはいえ、計測された横揺周期は、時々刻々と変化する復原性と関係が深く、運航判断のための重要な情報となりうる。

例えば、一般的に航行時には錨泊時など速力を持たない状態と比較して、復原性が増加し横揺周期は短くなる。また、パラメトリック横揺れの状況下では見かけの復原性が低下する[3]ため、横揺周期は長くなると考えられる。

本研究では、大型カーフェリーの様々な航海状態において、横揺周期にどの様な変化が見られるかを検証するため、傾斜角と横揺周期の時系列情報をサーバに蓄積し、ログブックや電子チャートの航跡データ等と照らし合わせた。

4. まとめ

これまで操船者は船体の揺れ方や周期などから大傾斜の危険を予測してきたが、あくまで感覚や経験に基づいた判断であった。

船体動揺を計測し、復原性を把握するという試みは以前から行われていた[4]。本論では単に復原性を推測するのではなく、刻々と変化する横揺周期を視覚化することで、耐航性の一判断材料となるモニタリングシステムを試作し、実船で検証した。

結果、船体コンディションや航海状況、すなわち、バラストや積荷の状態、航行中、停泊中、錨泊中、海象、針路等による横揺周期の変化、例えば錨泊中よりも航行中は横揺周期が短くなり、傾斜角も小さくなる等のモニタリング結果が得られた。

今後、運航現場において継続して船体動揺、横揺周期のデータを蓄積し検証することで、GMという数値的概念だけでなく、ブローチングやパラメトリック横揺れ等の前兆を捉え、近い将来起こりうる大傾斜を予測できる可能性を見出した。

5. 参考文献

(1) Japan Captain’s Association: A Guide to Ship Handling, All Japan Seaman’s Union (AJSU), pp82-85, 2008.
(2) 本田啓之輔: 基本運用術, pp.243, 1974.12.
(3) 国土交通省: 報道発表資料 フェリー・RORO船の安全対策について, 別紙2 フェリー・RORO船の操船について（注意喚起）, 2010.4.6.
(4) 社団法人日本舶用工業会: 平成21年度 船舶復原性能監視装置の技術開発 成果報告書, 2010.3.

練習船「豊潮丸」の横傾斜時における操縦性能

学生会員○松本　隼人（広島大学）　正会員　平田　法隆（広島大学）
正会員　安川　宏紀（広島大学）

要旨

船体横傾斜が船の操縦性能に及ぼす影響を把握するため、広島大学生物生産学部の練習船「豊潮丸」(1)を用いて、強制的に横傾斜をつけその状態で航行させて、旋回運動や zig-zag 運動を行い、高精度 GPS でその操縦運動を計測した。横傾斜は四種類ほど変更して試験を行った。右舷側に横傾斜すると船は左舷側に回頭し、左舷側に横傾斜すると船は右舷側に回頭すること、船体横傾斜はあたかも舵角にオフセットを付けたような作用があることが分かった。これらの知見は、安川・平田の検討結果(2)と一致していることを確認した。また、「豊潮丸」の横傾斜角2degは、舵角約−1degに相当し、本船は横傾斜に対してヨー運動が誘起されやすい傾向のあることが明らかとなった。

キーワード：操縦性、横傾斜、高精度 GPS、実船試験

1. 緒　言

荷崩れや外板損傷等が原因で船体が横傾斜すると、船体の左右対称性が壊れ、操縦性能に大きな影響を及ぼすことがある。そのような横傾斜が起こった際の操縦性能を知ることは、座礁や転覆といった海難事故防止への一助になると考えられる。

横傾斜しながら航行する船の操縦性能については、流体力特性を把握するための拘束模型試験をベースとした安川・平田の研究例(2)があるが、横傾斜する船の操縦運動特性を実船試験において計測し、定量的に把握した例はないように思われる。本研究では、高精度 GPS(3)を用いて、表 1 に示す主要目を持つ広島大学生物生産学部の練習船「豊潮丸」(1)を対象に、横傾斜時にはどの様な操縦運動特性を示すのか、を把握するため実船試験を行った。なお、「豊潮丸」は二軸の電気推進船であり、舵は持たず、首振り式の推進・操舵装置を用いて操船する。

表 1「豊潮丸」主要目

全長	L_{OA} (m)	40.50
垂線間長	L_{PP} (m)	35.50
型幅	B_{mld} (m)	8.50
型深さ	D_{mld} (m)	3.70
航海速力	V_s (kt)	10.50

2. 座標系

図 1 に使用する座標系を示す。空間固定系 O-$X_0Y_0Z_0$ と船体水面固定座標系 G-xyz の 2 つの座標系を考える。G は船の重心位置にとり、船首方向に x 軸、鉛直下向きに z 軸、横方向に y 軸を取る。u, v はそれぞれ船速 U の x 方向ならびに y 方向の速度成分である。横傾斜角 ϕ は、船尾から船首方向を見て、右に傾斜する方向を正とする。

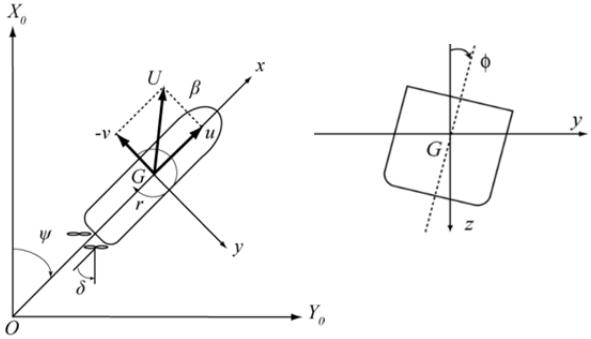


図 1　座標系

3. 海上試験の概要

3.1　試験の概要

「豊潮丸」を$\phi = +3.5\text{deg}, -0.4\text{deg}, -1.5\text{deg}, -5.6\text{deg}$と横傾斜させた状態で航行させ、旋回試験、zig-zag 試験（以後 Z 試験）、直進航行試験を実施した。各試験の概要を表 2 に示す。

表 2　試験概要

旋回試験	首振り角（舵角）$\delta = \pm 10\text{deg}, \pm 35\text{deg}$
Z 試験	$\delta = \pm 10\text{deg}, \pm 20\text{deg}$
直進航行試験	オートパイロットによる保針 当て舵無し

3.2　試験状態

表 3 に海上試験における船の載荷状態と環境状況

を示す。2012 年 5 月 16 日に$\phi = -1.5\text{deg}, -5.6\text{deg}$の試験を、2012 年 5 月 17 日に$\phi = +3.5\text{deg}, -0.4\text{deg}$の試験を実施した。試験は瀬戸内海の宮島南沖で実施した。両日とも風・波ともに穏やかであった。

図 2 に GPS アンテナと重りの設置位置を示す。横傾斜は、高さ 1,410mm×幅 1,010mm×長さ 1,220mm、重さ 4,040kgf の重りと重さ約 12ton の清水タンク内の水を移動させることによって実現した。

表 3　試験における船の載荷状態と環境状況

日付	5 月 16 日	5 月 17 日
排水量 W (ton)	561.61	559.30
船首喫水 d_f(m)	2.45	2.50
船尾喫水 d_a(m)	3.05	3.00
Trim (m)	0.48	0.46
天候	晴れ時々曇り	晴れ
風向	SSW	SSE
風速(m)	0.1～9.0	0.1～3.0

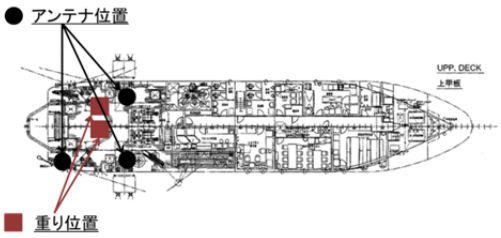


図 2　重りと GPS アンテナの位置

4.　試験結果

4.1　直進航行試験

図 3 に各横傾斜状態における航跡のグラフを示す。当て舵はとっておらず、舵角 0 での結果である。黒色の航跡は横傾斜角がほぼ 0 であるにも関わらず、右舷側に回頭しており、理由は不明なるも、本船はそのような特性を持つことが分かる。右舷側に横傾斜が付いた状態で前進すると左舷側に回頭し、一方、左舷側に横傾斜が付いた状態で前進すると右舷側に回頭することが明確に見て取れる。その傾向は横傾斜角の大きさにほぼ比例している。このような傾向は、安川・平田が指摘したもの[2]と一致している。

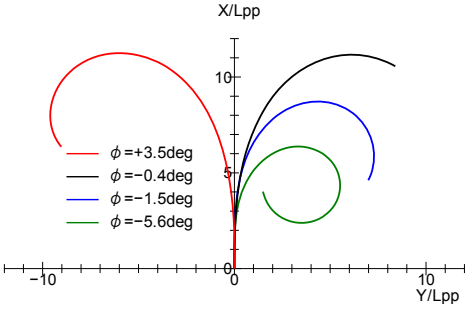


図 3　直進航行時の航跡の比較

図 4 にオートパイロットで保針して直進した際の当て舵の平均を示す。横軸が横傾斜角、縦軸が当て舵の大きさを表す。参考のために記入した近似直線は右肩上がりになっている。これは、右舷側に横傾斜が付くほど左舷側に回頭しようとするので、右舷側に回頭する方向に舵を取っていることを表している。図から、横傾斜角 0 のときの当て舵は約-0.7deg であり、右舷側に約 1deg 横傾斜を付けると、当て舵は 0 となることが分かる。また、近似直線の傾きから、当て舵は横傾斜角の 0.5～0.6 倍必要であることが分かる。すなわち、本船の横傾斜角 2deg は、舵角約-1deg に相当することを意味する。安川・平田によると、フェリー船型の場合、横傾斜角 5deg が、舵角約-1deg に相当するとしている。そのフェリーと比較すると、本船は横傾斜に対してヨー運動が誘起されやすいことが分かる。

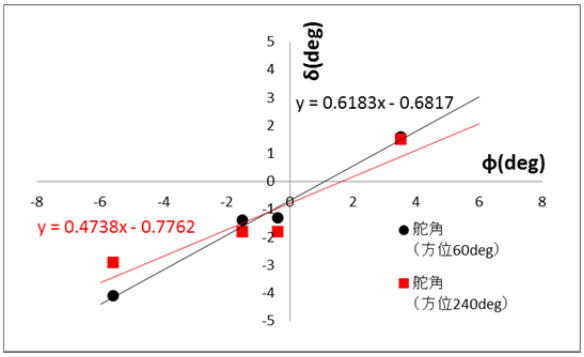


図 4　オートパイロット直進時の当て舵の平均

4.2　旋回試験

旋回試験では、旋回縦距（以後 A_D/L_{PP}）と旋回圏（以後 D_T/L_{PP} ）によって旋回性能の評価を行う。旋回航跡については、文献(1)に示した方法で、旋回航跡における潮流によるドリフトの補正を行っている。

図 5 に$\delta = \pm 10\text{deg}$の旋回航跡を示す。図中の太線は A_D/L_{PP} と D_T/L_{PP} の 2 つの位置を示している。左舷側に回頭する$\delta = -10\text{deg}$の旋回航跡に注目すると、横傾斜角が小さくなるほど、A_D/L_{PP} と D_T/L_{PP} が大きくなる。一方、右舷側に回頭する$\delta = +10\text{deg}$の旋回航跡に注目すると、横傾斜角が小さくなるほど、A_D/L_{PP} と D_T/L_{PP} が小さくなっており、$\delta = -10\text{deg}$の旋回とは逆の特徴が表れている。

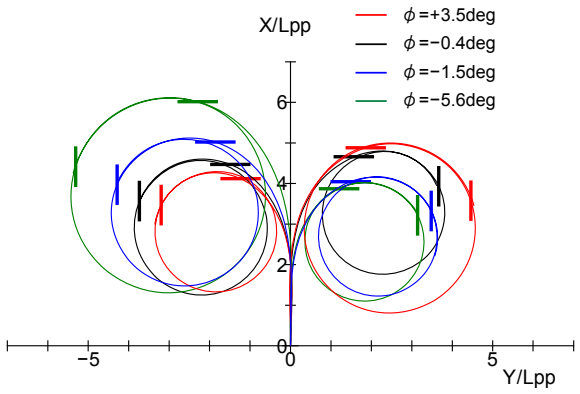


図 5　旋回航跡の比較（$\delta = \pm 10$deg）

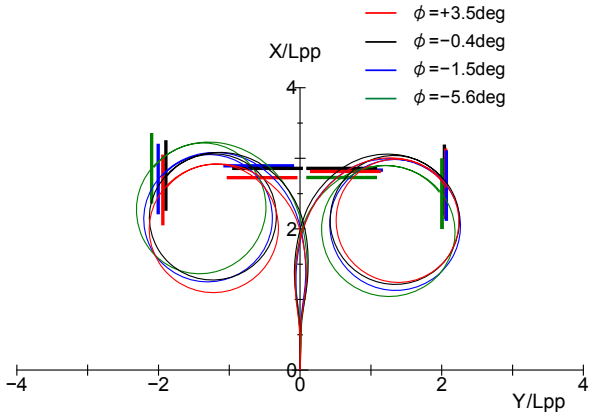


図 6　旋回航跡の比較（$\delta = \pm 35$deg）

図 6 に舵角±35deg の旋回航跡を示す。図 5 と比較して、A_D/L_{PP} と D_T/L_{PP} の位置が重なっているように見えるが、左舷側に回頭する$\delta = -35$degの旋回航跡では、横傾斜角が小さくなるほど、A_D/L_{PP} と D_T/L_{PP} が大きくなっており、一方、右舷側に回頭する$\delta = +35$degの旋回航跡では、横傾斜角が小さくなるほど、A_D/L_{PP} と D_T/L_{PP} が小さくなっており、図 5 の結果と定性的には同じである。ただし、図 5 の結果のように、横傾斜角の影響は顕著ではないが、舵角が 35deg にもなると、それによって船の操縦運動の大部分は決まってしまい、横傾斜の影響が目立たなくなるためであると考えられる。

図 7 に横傾斜角と旋回圏（D_T/L_{PP}）の関係を、図 8 に横傾斜角と旋回縦距（A_D/L_{PP}）の関係を示す。赤色の近似線は右舷側に回頭した場合のものであり、どちらも右肩上がりである。これは、左舷側に横傾斜が付いた時に右舷側への旋回性能が向上し、右舷側に横傾斜が付いた時に右舷側への旋回性能が低下（すなわち、左舷側への旋回性能は向上）することを意味している。青色の近似線は左舷側に回頭した場合のものであり、逆の特徴が表れる。

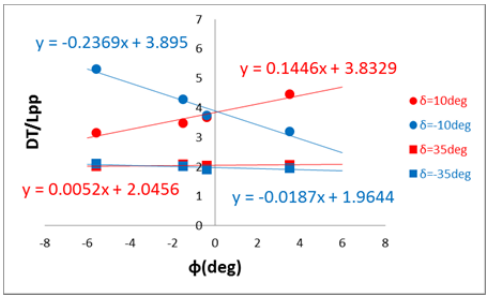


図 7　横傾斜に対する D_T/L_{PP}

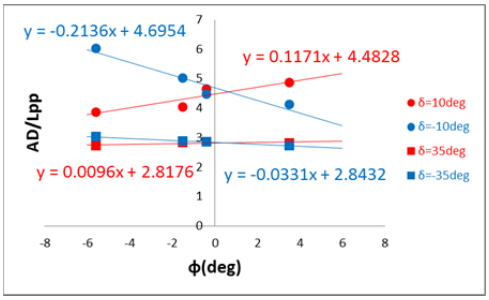
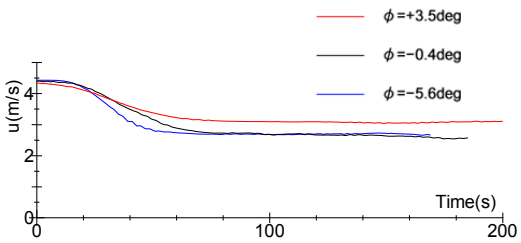
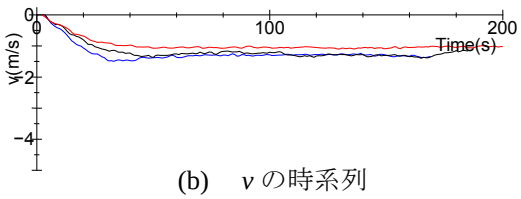


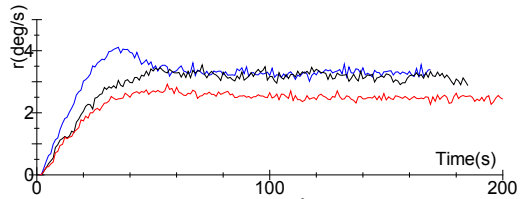
図 8　横傾斜に対する A_D/L_{PP}



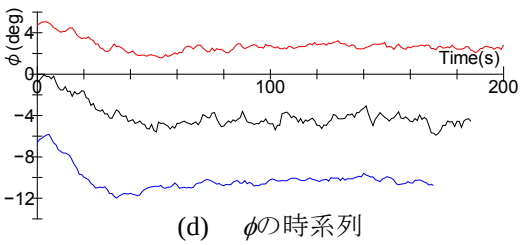
(a)　u の時系列



(b)　v の時系列



(c)　r の時系列



(d)　ϕの時系列

図 9　δ=+10deg 旋回試験結果の比較

図の上に位置する$\delta = \pm 10$deg旋回の近似直線の傾きと、図の下に位置する$\delta = \pm 35$deg旋回の近似直線の傾きを比較すると、$\delta = \pm 35$deg旋回では、傾きの絶対値が小さいことから、舵角が増大すると横傾斜によるD_T/L_{PP}の大きさの違いが目立たなくなることがわかる。なお、図 8 も図 7 に現れる特徴と同じ傾向を示している。

図 9 に 3 つの横傾斜の$\delta = +10$deg旋回試験の時系列結果を示す。なお、先述の通り、右舷側への旋回の場合、横傾斜角が小さくなるほど旋回性能は向上する。

横傾斜角が小さくなるほど旋回性能は向上するため、$\phi = -5.6$degの u, v, r の絶対値が一番大きくなるという傾向はあるものの、$\phi = -0.4$deg と $\phi = -5.6$degの定常旋回時の u, v, r はほぼ同値となっている。

4.3 Z 試験

次に、Z 試験の結果を示す。第一行き過ぎ角（以後 1stOSA）と第二行き過ぎ角（以後 2ndOSA）によって保針・変針性能の評価を行う。図 10 に各横傾斜における 1stOSA を示す。横軸が横傾斜角、縦軸が 1stOSA である。赤色の近似直線は 10/10Z もしくは 20/20Z 試験の結果である。丸印が 10/10Z の結果、角印が 20/20Z の結果を表しており、どちらも右肩下がりである。これは、右舷側に横傾斜が付いた時に 1stOSA が減少し、左舷側に横傾斜が付いた時に 1stOSA が増加する傾向を表している。青色の近似直線は -10/-10Z もしくは-20/-20Z 試験の結果であり、上とは逆の特徴が表れている。

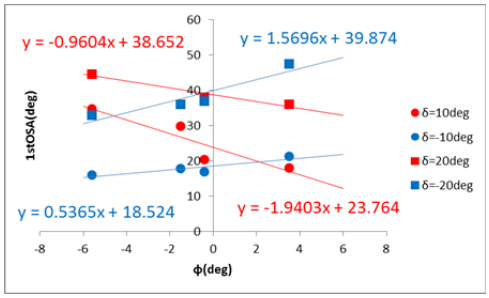


図 10　横傾斜に対する 1stOSA

図 11 に各横傾斜角における 2ndOSA を示す。図 10 の場合と異なり、赤色の近似直線は、右舷側に横傾斜が付いた時に 2ndOSA が増加し、左舷側に横傾斜が付いた時に 2ndOSA が減少する。また、青色の近似直線は逆の傾向を示す。

これらは、安川・平田が示しているように[2]、右舷側に横傾斜したときには、左舷側へ回頭するような一定のオフセット舵角をとったような現象が起こっていると考えることによって説明が付く。

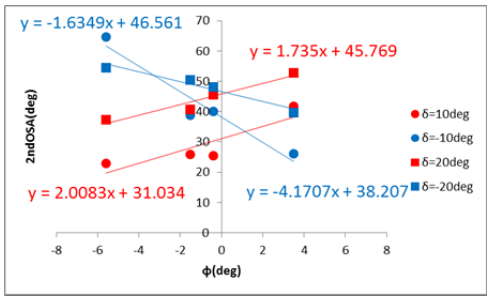


図 11　横傾斜に対する 2ndOSA

5. 結　言

横傾斜状態で航行する船の操縦性能への影響について以下のことが明らかになった。

- 今回初めて、高精度 GPS[3]を用いて横傾斜する船の操縦運動特性を実船試験において計測することができた。
- 右舷側に横傾斜すると船は左舷側に回頭し、左舷側に横傾斜すると船は右舷側に回頭すること、船体横傾斜はあたかも舵角にオフセットを付けたような作用があることが分かった。これらの知見は、安川・平田の検討結果[2]と一致していることを確認した。
- 「豊潮丸」の横傾斜角 2deg は、舵角約-1deg に相当し、本船は横傾斜に対してヨー運動が誘起されやすい可能性がある。

最後に、実船試験に御協力頂いた「豊潮丸」の乗組員の方々に感謝の意を表します。

6. 参考文献

(1) 平田法隆、浮田寛之、安川宏紀：練習船「豊潮丸」の操縦性に及ぼすトリム影響、日本航海学会論文集 第 126 号、2012.3.

(2) 安川宏紀、平田法隆：横傾斜状態で航行する船の流体力微係数と操縦性、 日本船舶海洋工学論文集第 17 号、 2013.6.

(3) 平田法隆、松村和昌： K-GPS による OP 級ヨットの運動計測、日本航海学会論文集 第 124 号、2011.3.

画像処理技術を用いた着離桟操船支援用数値情報の取得

正会員○平田　法隆（広島大学）　　非会員　西嶋　孝典（常石造船株式会社）
非会員　垣野　文彦（常石造船株式会社）

要旨

着離桟操船において、水先案内人はブリッジで得られる数値情報とウィングで得られる視覚情報を、一元的に管理する必要がある。そこで、数値情報と視覚情報を一元化するために、画像処理技術を用いて、岸壁と本船の位置関係を把握しやすい俯瞰図を作成し、岸壁を認識することによって、離隔距離を求め、岸壁の移動ベクトルから速度を抽出する試みを行った。その結果、カメラで撮影した画像を元に得られた数値情報の精度が、距離 16cm、速度 0.1knot、回頭角速度 0.6deg/min で、津金が提唱する着離桟で必要とされる数値情報の精度に一部及ばないところもあったが、達成できる見通しを得た。

キーワード：航海計器・計測、画像処理、俯瞰表示、離隔距離・速度計測

1.はじめに

中大型船舶が入出港する際は、水先案内人が乗船し、本船と複数の曳船に指示を出しながら、着離桟操船を行っている。その際、水先案内人は岸壁側のウィングに位置して目視によって安全確認を行いながら、岸壁との離隔距離、着離桟速力、曳船の状況等はトランシーバーによる音声通信によって把握している。

映像の船舶への適用例としては、監視を目的として半球ミラーを使用した全方位画像や俯瞰画像の作成[(1)]が試みられているが、小型の練習船に適用されているのみで、中大型船舶に適用した例や、特殊なターゲットを必要としない岸壁との離隔距離や速度を画像から計測した例は無い[(2)]ようである。また、RTK-GPS を用いて計測された例がある[(3)]が、港湾側に設備が必要であるため対象となる港湾が限定される、曳船や障害物の情報が得られないといった欠点がある。

そこで、中型のバラ積み貨物船を使用し、ボートデッキにカメラを設置して、視覚情報と数値情報の両方を得ることに成功したので報告する。

2.実験について

着桟画像の取得は 2010 年 8 月 30 日に常石造船本社工場において進水後の艤装岸壁への接岸時に行った。供試船はばら積み貨物船で、主要目と実験時の喫水を Table 1、側面図とカメラ設置位置を Fig. 1 に示す。

カメラはボートデッキの手すりに設置し、岸壁からカメラまでの高さは 20.0m であった。使用したカメラの仕様を Table 2 に示す。焦点距離 3mm の広角レンズを使用して、ボードデッキの下方から前方へおよそ 10 – 80deg の範囲の撮影を行った。

また、精度確認用に、ウィングに KGPS のアンテナ 3 個を基線長約 5m で、ほぼ二等辺直角三角形になるように設置し、本船の位置と姿勢の計測を行った。着桟した時点の位置と方位を基準として、逆算で着桟までの相対位置を求めた。この時の精度はベースラインの距離から位置は数 cm，方位は 0.1deg 程度[(4)]であったと見込まれる。

Table 1 Principal dimensions of “KAMSARMAX”

L_{OA}	229.00m
B	32.26m
D	20.05m
d_f	2.04m
d_a	2.92m

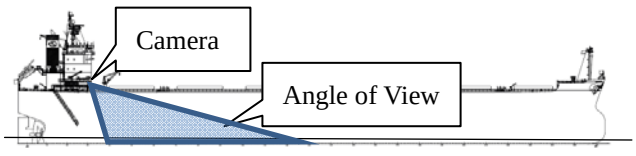


Fig. 1 Side View of “KAMSARMAX”

Table 2 Camera Specifications

Optical Size	1/3”
Sensor Size	1294 x 964pix.
Lens Focus	3mm
Angle of View	75 x 60deg

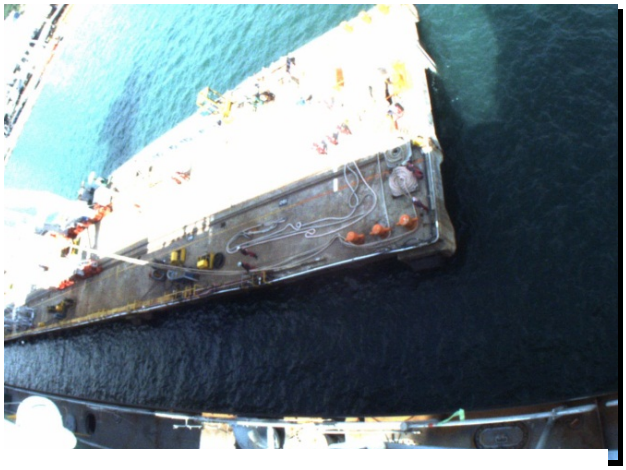


Fig. 2 Original photo (before image processing)

2.1 画像変換

Fig. 2 に右舷ボートデッキより岸壁を撮影した画像を示す。広角レンズを使用している関係で、かなり画像がひずんでおり、距離感も強調されるため、かなり遠方まで撮影されているように感じられる。

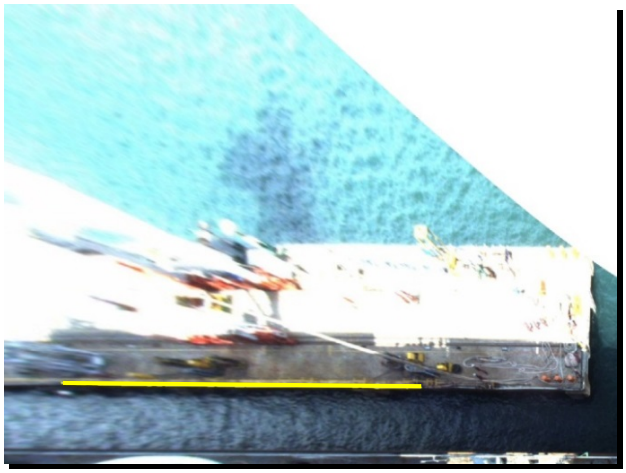


Fig. 3 Convert to bird view and detect edge of the berth

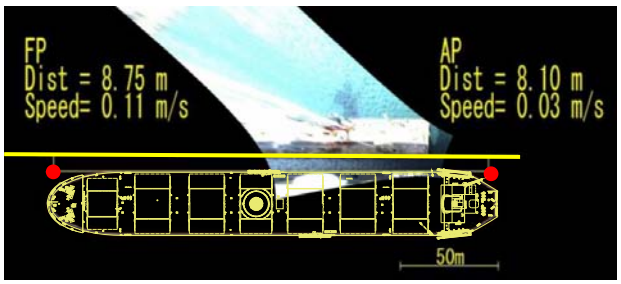
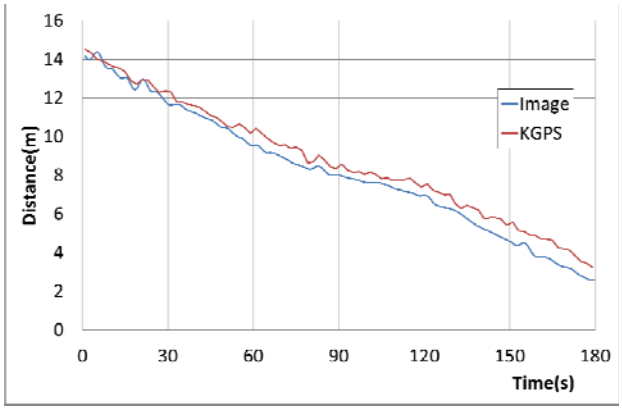


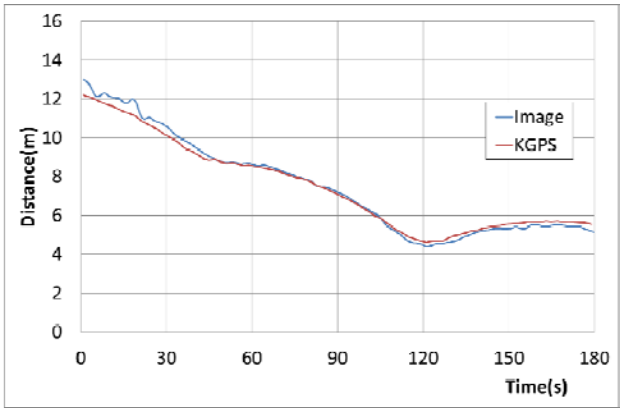
Fig. 4 Measure distance from F.P. and A.P. to the berth

Fig. 3 は撮影した Fig. 2 の画像を俯瞰図に変換した図である。桟橋が長方形になっており、歪みが補正されていることがわかる。この画像からエッジの検出を行い、多数のエッジの中から船に最も近くて長く、船との角度が浅い直線を岸壁と定義して得られた直線を黄色い線で示している。

Fig. 4 にエッジ検出を元に F.P.と A.P.の離隔距離と速力を表示させた結果を示す。Fig. 3 で得られたエッジを延長して岸壁ラインとし、F.P.、A.P.と舷側との交点「●」から岸壁ラインへ垂線を下ろして、離隔距離を取得した。そして、その時間変化から速度を求めた。画像処理より求めた離隔距離と 3 台の KGPS により得た離隔距離の時系列を Fig. 5 に示す。(b)船尾側では良い一致を示しているが、(a)船首側は差が大きく、変動も多い。船首側の画像が取得できなかったことと、船尾付近の画像解像度は高いが前方では画像が粗くなっているため F.P.の値は変動が大きく、精度が悪くなっている。KGPS より求めた離隔距離との誤差は標準偏差で船首側 0.24m、船尾側 0.16m であった。



(a) Distance between F.P. and the berth



(b) Distance between A.P. and the berth

Fig. 5 Measure distance by image processing and KGPS

2.2 速度情報の取得

離隔距離の変化から速度を求めたところ，エッジ検出位置が安定しておらず、距離にはさほど表れていないものの、速度には、ノイズとして大きく現れ

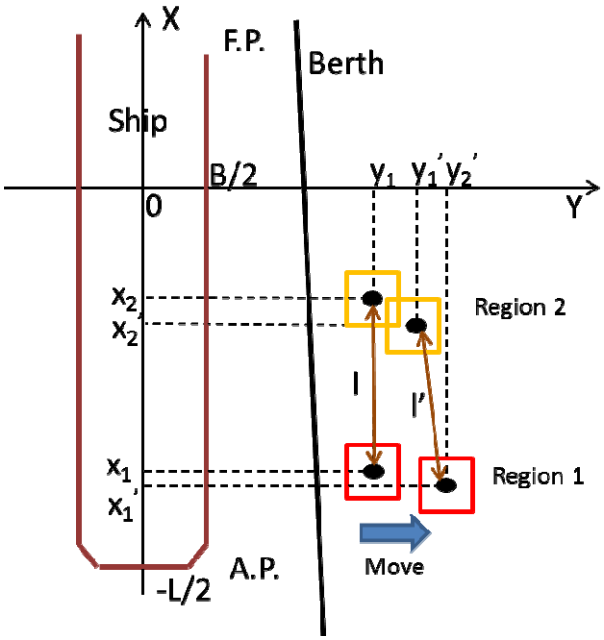


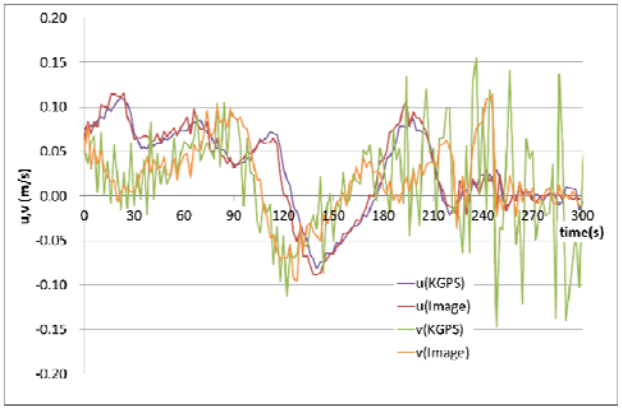
Fig. 6 Coordinate system for motion measurement

た。また、この方法では前進速度が得られない。そこで、画像マッチング処理を用いた速度成分検出を行った。

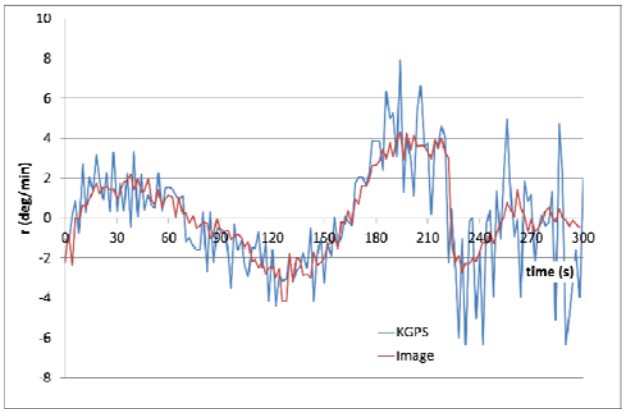
船舶の旋回運動は画像撮影間隔と比較し非常にゆっくりしているので一つの領域で移動と回転の両方を検出することは困難である。そこで、回転は無視し、Fig. 6 に示すように x_1,y_1 と x_2,y_1 を中心とした 2 カ所の領域を設定し、次の画像でそれぞれの領域の周辺で最も一致する場所を探索するマッチング処理を行い、中心座標 x_1',y_1' と x_2',y_2' を得た。そして、それぞれの移動距離から船体の前進速度、横速度、回頭角速度を求めた。なお、今回の解析では $l=10$m、領域は 1m 四方とした。また、y_1 は岸壁ラインからの距離を一定とすることによって、離隔距離が変化しても常に桟橋上に領域が設定されるようにした。

マッチング処理で本来 $l=l'$ となるべきであるが、精度検証のために誤差の標準偏差を求めたところ 9.5mm で、これはカメラの画素 1 ドットに相当する距離の半分以下であったので、精度良く一致点を検出できていることがわかった。

Fig. 7 に KGPS とマッチング処理によって求めた(a)速度と(b)回頭角速度の時系列を示す。前進速度は KGPS と良く一致していた。横速度と回頭角速度はマッチング処理の方が KGPS よりノイズの少ない速度成分を得ることができた。なお、解析には船体中央より 60m 後方の画像を使用しているため、角度の計測誤差が横速度成分に混入し、横速度の誤差を大きくしているが、移動距離検出精度が KGPS より良く、領域間の距離が 10m と長いことが角速度のノイズ低減に効果的であったと考えられる。



(a) Forward and lateral speed



(b) Yaw rate

Fig. 7 Compere with image processing and KGPS

Table 3 Accuracy of image processing

	Required accuracy	Differences between image processing and KGPS
Speed	3cm/s(0.1knots)	4cm/s
Lateral Speed	3cm/s(0.1knots)	3cm/s
Yaw Rate	1deg/min	0.6deg/min
Distance	10cm	16cm

画像処理より求めた速度成分の値は KGPS よりノイズが少ないため、KGPS による値を真として誤差を求めることに意味があるかどうかは疑問であるが、Table 3 に着離桟時に要求される計測精度と本システムで得られた結果と KGPS との誤差を示す。距離の計測については、撮影範囲の拡大によって精度の向上が見込めるため、現状では要求仕様を一部満たしていないが、今後、満たすことは十分可能である。

3.結言

今回の実験で本船に設置したデジタル画像を画像処理により舷側近傍の映像を俯瞰表示させ、さらに、離隔距離や速度等の数値情報を得ることができた。本装置の場合、港湾側の設備は不要で、本船側の設備だけで得られるため、汎用性が高い。

また、距離情報については誤差が多かったが，速度情報の精度はKGPSと同等もしくはそれ以上であり、出入港操船に必要とされる精度をほぼ満たしている。今回の実験では船長の半分にも満たない範囲しか岸壁を撮影することができず，露光の調整も適切とはいえなかったためであると考えられる。最低でも船長以上の範囲を撮影する必要があり，シャッター速度や感度調整を行えば，岸壁の認識精度も向上して，距離情報の精度は向上すると見込まれる。

さらに、今回は俯瞰表示のみであるが、デジタル画像処理技術を使用すれば、レンズ歪みを取り除きウィングから見えるような画像、一部を拡大した画像など、様々な表示をさせることが可能である。

なお、KGPS 計測をウィングで計測したため、方位誤差が F.P.での横方向の誤差として大きく現れた。0.1degが0.3m程度に相当するので、精度検証のための計測であれば船首でもKGPSでの計測を実施する、もしくは、方位誤差の影響を減らすために船体中央付近に設置し、20 – 30m程度の基線長を確保する必要があった。

今後は、複数カメラを用いた、撮影範囲の拡大、ステレオ画像技術を用いた、喫水変化への対応について研究を進め、実用化を目指す。

4.謝辞

本論文で述べた実験は、広島大学工学部卒業研究の一環として福田大輔君、東里咲君によって実施されたものである。広島大学名誉教授小瀬邦治先生には本研究の機会とご助言、東海大学教授津金正典先生には着離桟操船に関する要求項目等の情報をいただいた。さらに、実船試験に当たり、常石造船(株)の関係各位の協力を得た。ここに記して感謝の意を表します。

5.参考文献

(1) 桐谷伸夫、今里元信：全方位画像センサによる離着桟操船時の海上モニタリング技術，日本航海学会論文集，第165号，pp.88-93、2007.9.
(2) 星野邦弘他：着離桟システムのための着桟速力計の開発と評価試験，日本船舶海洋工学会講演会論文集，第5E号，pp.151-154，2007.
(3) 高橋宏直他：RTK/OTF GPSによるTSL着桟システムに関する研究，日本航海学会論文集，第95号，pp.79-85，1996.9.
(4) 平田法隆，松村和昌：K-GPSによるOP級ヨットの運動計測，日本航海学会論文集第124号，pp.273-280，2011.3.

HOG 特徴量を用いた船舶画像認識

正会員　松本　洋平（東京海洋大学）

要旨

HOG(Histogram of Oriented Gradient)特徴量と線形 SVM(Support Vector Machine)を船舶画像認識に適用し評価を行った。HOG 特徴量は様々な対象の画像認識に実績があるが、船舶を対象とした場合の報告はまだなされていない。評価の結果、高解像度の船舶画像に対しては 98%/6%(認識率/誤認識率)の認識精度を達成した。

キーワード：情報処理、画像認識、HOG、SVM

1. はじめに

本研究はコンピュータビジョンを用いて船舶を自動的に発見すること、そのための船舶画像認識の実現を目的としている。

船舶の衝突事故の主要因は見張り不十分であるとされている。それらの内訳は必ずしも目視による見張りの不足が原因ではないが、船舶画像認識技術を補助として用いることで、衝突のリスクを削減することができると考えられる。

また、近年、離島監視の重要性が高まっている。広大な領海と多数の離島を有する日本国においては、監視網を充実することは容易ではなく、船舶画像認識による補助は有益であると考えられる。

画像認識の研究は様々な対象にたいして数多く行われているが、船舶を対象とした例は少ない。

2 章では物体検出の基礎的な解説と船舶画像認識に関する過去の研究を紹介する。3 章では本研究で船舶画像認識に適用する HOG・SVM について解説する。4 章では評価手法とそれを実現するための学習データの作成について説明する。5 章で評価結果を示し、6 章でまとめる。

2. 関連研究

2.1 物体検出

コンピュータビジョンを用いた物体検出は様々な分野で研究がされており、とりわけ、自動車からの歩行者の検出の研究は多くなされている[1]。それらの研究ではおおむね検出窓で走査する方法がとられている。図 1 に典型的な物体検出アルゴリズムの擬似コードを示す。検出窓(幅 w 高さ h)で画像上の水平・垂直方向(x、y)、スケール方向(s)を走査する。その 3 重ループの本体が画像認識アルゴリズムである。

画像認識アルゴリズムは(s, x, y)においた検出窓の切り取る部分画像が対象の物体であるか否かを判定する。

```
detectObject(I, O, (w, h) ){
  O = {null}; // initialize list of detected object.
  for each scale s {
    Is = Scale(I, s); // scale the image with factor s
    for each horizontal position x in in Is {
      for each vertical position y in Is {
        fv = calculateFeature(Is, (x, y), (w, h));
        if(determine(fv) > th)
          push(O, (s, x, y));
      }
    }
  }
}
```

図 1 物体検出の擬似コード。

画像認識アルゴリズムは主に 2 つの部分、すなわち、特徴量の抽出(図 1 の calculateFeature)と識別(図 1 の determine)に分けられる。特徴量の抽出としては主成分分析等の統計的なものや、Haar-like 特徴、SIFT 特徴量、HOG 特徴量[2]などの発見的なものがある。識別手法としては単純ベイズ法、ニューラルネットワーク、SVM[6]などがある。

近年、HOG と SVM を組み合わせた手法が様々な対象の画像認識に実績を挙げている。本研究では HOG・SVM を船舶画像認識に適用し評価する。

2.2 船舶画像認識

船舶を対象とした画像認識の研究を紹介する。

文献(3)は背景差分法を用いて船舶を検出することを試みている。また、文献(4)はオプティカルフローを用いて船舶を検出することを提案している。こ

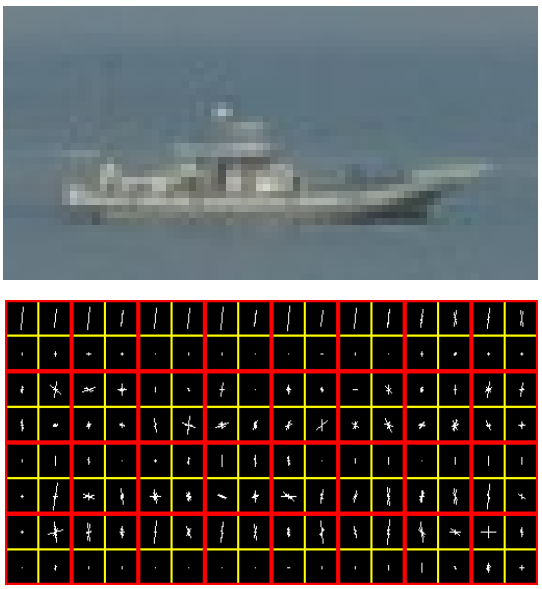


図 2 船舶画像(上)と HOG 特徴量(下)

れらの研究は船舶の認識に時系列データを用いているが、船舶が高速に運動しているか、あるいは、近い位置を航行しているのでなければ、これらの手法は有効に働かない。すなわち、基本的に静止画像から船舶を認識できることが好ましい。文献(5)は色相の分散を用いる方法を提案しており、しかし、その識別精度の評価はされていない。

いずれの船舶画像認識の研究においても認識精度（認識率・誤認識率）の定量的な評価が行われていない。画像認識の評価には Ground Truth となるデータを多量に必要とし、また、それは人間によって作られなくてはならないため、非常に時間がかかる。しかし、それらのデータは機械学習を用いた画像認識手法においては、学習データとしてそもそも必要である。したがって、本研究では多くの学習データセットを用意した。その結果、認識精度の定量的な評価が可能となっている。

3. 評価する手法

特徴量として HOG、機械学習アルゴリズムとして線形 SVM を用いる。以下、それぞれを簡単に説明する

3.1 HOG 特徴量

HOG 特徴量は勾配画像を基礎とする特徴量であり、まず検出窓内の画像をグレースケール化し、微分画像を計算する。検出窓の内部は複数のセルという領域に分けられ、セル毎に勾配ベクトルの方向のヒストグラムを作る。このとき、ヒストグラムの各階級の投票では勾配ベクトルのノルムで重みをつける。複数の隣接するセルがブロックという単位にまとめられ、各セルのヒストグラムを束ねたベクトルはブロックディスクリプタと呼ばれる。ブロックディスクリプタはノルムが 1 になるように正規化される。最終的に HOG 特徴量のベクトルとは検出窓内のブロックディスクリプタを束ねたものとなる。

表 1 各検出窓サイズにおける船舶画像および非船舶画像数

	船舶画像	非船舶画像
128x64	479	938
64x32	1134	2240
32x16	1952	3862
16x8	2280	4496

本研究では HOG 特徴量の計算に勾配ヒストグラムの階級数 9、セルのサイズ 4x4、ブロック(赤枠)のサイズ 2x2 を用いている。これは文献(2)などで示された典型的な設定である。対象によって最適なパラメータは異なると考えられるが、今回はその探索は行わない。

図 2 は 64x32 の船舶画像に対する HOG 特徴量の計算例を示している。それぞれのセルの勾配ヒストグラムは、階級値を方向で、度数を長さで示している。この場合、検出窓内は 128 のセルに分割され、それらのセルが、さらに 32 のブロックに分割される。このとき、最終的な HOG 特徴量は 128x9=1152 次元のベクトルとなる。

なお、本研究において HOG 特徴量の計算プログラムは C++で作成した。

3.2 SVM

機械学習アルゴリズムの目的は、この場合、HOG 特徴量の空間で、船舶の分布と非船舶の分布を分離する境界面を探すことである。SVM はクラス間のマージンが最大となるような分離境界面を決定する[6]。

本研究では線形 SVM を想定し、カーネルトリックは使わない。また、SVM の計算には OpenCV のコードを用いた。ソフトマージンのパラメータは自動推定に任せ、その結果、0.1～0.5 となっている。

4. 評価方法

船舶画像認識の評価は次の手順で行った。

(1)検出窓と同サイズの船舶画像と非船舶画像を多数用意

(2)船舶画像・非船舶画像を学習用と評価用に分割

(3)学習用データを用いて船舶画像認識アルゴリズムに船舶と非船舶のHOG特徴量を学習
(4)評価用データを用いて船舶画像認識アルゴリズムの認識精度を評価

なお、ステップ(3)においては学習用データは鏡対象の画像も用いた。また、(3)と(4)のステップは少ない学習データを有効に活用するため、実際にはk-fold CV (Cross Validation)[1]を行った。

4.1 学習データの作成

船舶画像と非船舶画像の準備方法を説明する。

2012年7月24～26日、2013年1月25～27日、3月6～8日に東京海洋大学の練習船である汐路丸が勝どき・館山間を往復する間に撮影した2158枚の画像から学習データを作成した。カメラは汐路丸のフライングブリッジの正面方向に取り付けた。カメラの解像度は4912x3264、センサのサイズはAPS-C(23.6mmx15.6mm)、レンズの焦点距離は18mmである

まず、撮影した画像の中の船舶の領域を矩形で指定し、その矩形の左上角と右下角の座標を記録した。これをラベリングデータと呼ぶ。このラベリングデータから128x64、64x32、32x16、16x8の検出窓サイズを想定して船舶画像、非船舶画像を抽出した。

ラベリングデータの船舶を囲む矩形のアスペクト比(横/縦)の平均は2.18であり、検出窓のサイズとしてはもっとも近い整数値として2.0を選んだ。

船舶画像の抽出に際して、窓サイズに満たないサイズの船舶は捨てて、窓サイズより大きい船舶は窓サイズまで縮小した。また、非船舶画像は船舶の存在しない領域からランダムに抽出した。

表1に各窓サイズの船舶画像、非船舶画像数をまとめる。また、図5に128x64の学習データの例を示す。

なお、k-fold CVを行う上で、128x64、64x32のデータセットではk=5とした。また、32x16、16x8のデータセットに関しては、逆にデータ数が多すぎてSVMの学習が収束しない問題が生じたので、学習データの1/kを学習に、残り(k-1)/kを評価に用いることとし、それぞれ、k=4、k=5とした。

5. 評価結果

図4は各窓サイズに対して認識率を横軸に誤認識率を縦軸にとって、SVMの閾値を-1から1の間で動かしながらプロットしたものである。

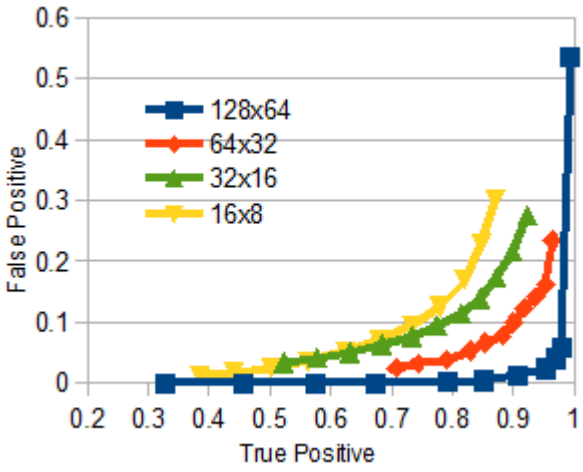


図4　認識率(True Positive)と誤認識率(False Positive)

対象の情報を多く使うことができるという点で、基本的に窓サイズが大きいほど高い認識精度を得られる。具体的に、例えば128x64の閾値の高い領域では認識率98%、誤認識率6%を達している。

ただし、窓サイズが大きいほど学習データが少ないので、評価結果の信頼性および、SVMの訓練度が低い可能性がある。データ数は現在も作成中であり、発表の段階ではより信頼性の高い結果を出せる予定である。

6. まとめ

HOGとSVMを用いた船舶画像認識を多数の学習データを用意して評価した。学習データは現在も作成中であり、今後他の手法も評価していきたい。

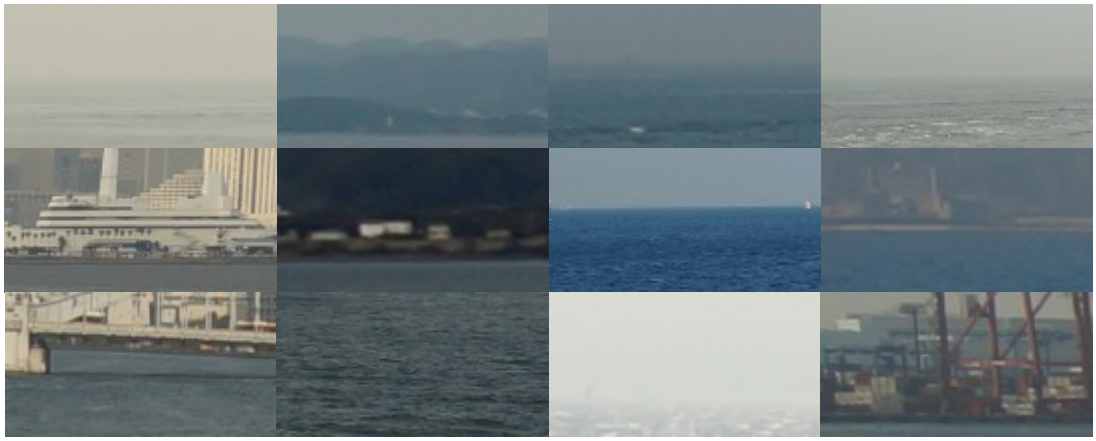
学習データはまだ十分であるとはいえないが、高解像度の検出窓(128x64)を用いる場合の認識精度は十分高いといえる。撮影に用いたカメラでは検出窓の幅である128ピクセルは、約300mの距離の10mに相当する。見張りに必要な距離が長ければレンズ焦点距離を延ばすか、高解像度のカメラを用いる必要がある。

一方で低解像度での識精度を上げる余地も残されている。まず、今回はHOGのあらゆるパラメータを探索したわけではない。また、HOG・SVMのほかにもさまざまな手法が存在しており、それらを併用することも考えられる。

また、見張りのシステムとしては、認識した船舶を追尾する、距離や速度を測定する、進路を予測する、

1　学習データをk分割し、$S_i(i=1\sim k)$を除く学習データを用いて訓練を行い、S_iの識別精度を評価することを、k度行った平均を評価する。

(a) 船舶画像



(b)非船舶画像

図 5 学習データの例(128x64)

危険船舶を予測する、といったことも実現されねばならない。これに関しても今後研究を進めていきたい。

7. 参考文献

(1) M. Enzweller, D. M. Gavrila, “Monocular Pedestrian Detection Survey and Experiments,″ IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol.31, no.12, pp.2179-2195, 2009.

(2) N. Dalal, B.Triggs, “Histograms of Oriented Gradients for Human Detection,” Proc. IEEE Intl. Conf. CVPR, pp.886-893, 2005.

(3) 周立輝,新保雅俊,大島正毅,”航海環境時系列画像からのリアルタイム船舶抽出手法,”日本航海学会論文集, vol. 117, pp.175-182, 2007.

(4) 桐谷伸夫,福戸淳司,”海上観測画像を用いたフレーム間差分による動体認識,”日本航海学会論文集, vol.113, pp.107-113, 2005.

(5) 新保雅俊,周立輝,平澤雅人,大島正毅,”HSV分析による航海環境時系列画像からの船舶抽出,”日本航海学会論文集, vol. 116, pp.69-76, 2007.

(6) C. Burges, “A Tutorial on Support Vector Machines for Patter Recognition,” Data Mining and Knowledge Discovery 2, pp.121-167, 1998.

謝辞

千田直紀君はたくさんの学習データのラベリングを、鈴木健司君はラベリングツールの開発をしてくれました。また、数多くの画像データが東京海洋大学の練習船・汐路丸の協力で得られました。ここに感謝の意を表します。

航海画像の水平線検出

学生会員〇鈴木健司（東京海洋大学） 正会員 松本 洋平（東京海洋大学）

要旨

Canny エッジ検出器と Hough 変換を用いて水平線検出を行い、計算量が少なくかつ安定した水平線検出を行うことが可能となった。水平線検出は多く存在するが、船舶向けの研究およびそれを定量的に評価を行ったものはほとんど存在していない。そこで、新しく水平線検出を評価するベンチマークデータを作成し、提案手法を評価した。

キーワード：情報処理、水平線、Canny エッジ検出器、ハフ変換、SSD

1. はじめに

本研究はカメラとコンピュータを用いて水平線を検出することを目的としたものである。

水平線の自動検出は、航海見張りを自動化する上で有用である。そのためには航海画像を安定化することが重要である。コンピュータビジョンの多くのアルゴリズムが映像が十分安定していることに依存しており、水平線を自動検出することができれば、映像の上下方向と回転方向の運動を除去することができる。次に、航海画像において物体までの距離を推測することである。海上の物体までの距離を認識することは重要である。対象物が船である場合は特に衝突予防のために、相手船との距離を把握することは欠かせない。観察者から水平線までの距離は一定であるため、水平線を検出できれば、画像中のある物体の距離を推定することが可能となる。

2. 関連研究

船舶を対象とした水平線検出の研究は地平線検出の研究の数と比較して、少ない。

文献(2)、文献(3)は判別分析法を用いて水平線を検出することを試みている。しかしながら、航海画像における輝度のヒストグラムの分布は複雑であり、分布形状が双峰性をなすとは限らないので、これらの手法では逆光時、曇天時の水平線検出は困難である。本研究では、エッジ検出器を基礎とした手法を提案するが、エッジ検出は証明条件の変動に対して頑健である。

3. 提案手法

提案手法は次の手順で水平線を検出する。

(1)Canny エッジ検出器によりエッジを検出する。

(2)ハフ変換により直線を 10 本検出する。

(3)10 本の直線の上下 5 画素の位置にある画素値の SAD(sum of absolute difference)が最大のものを水平線とする。

4. 実行結果

本研究に際して、Java により水平線検出のプログラムを実装した。図 1 は原画像、図 2 が実行結果である。

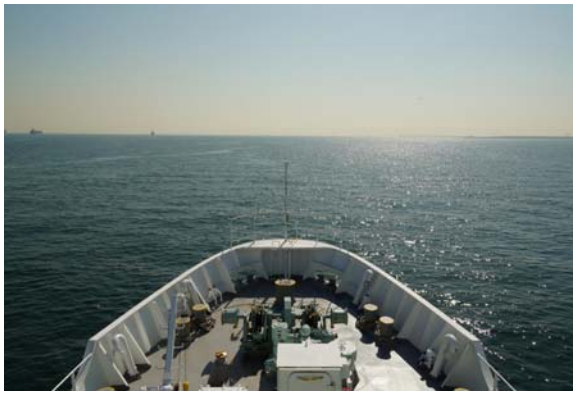


図 1 原画像

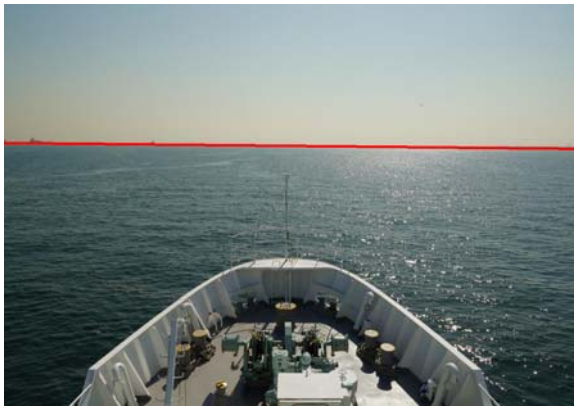


図 2 検出結果

5. 評価手法

水平線検出における定量的な評価をしたものは

数少ない。文献(1)では、検出した水平線の傾きと画像下から水平線までの高さを個々に評価している。しかし、これでは水平線までの高さがより正確でも、傾きが大きく異なれば指標としてまったく意味を成さなくなってしまう。そこで、本研究では、水平線までの高さおよび傾きを総合的に評価が可能なように実際の水平線と検出した水平線の位置のSSD(Sum of Squared Difference)によって評価する。

図3に評価方法の擬似コードを示す。

ラベリングによって得られた水平線上の点のy座標をL(x)、検出器によって得られた水平線上の点のy座標をD(x)とする。ただし、x, yは画像上の座標とする。そして、原画像の幅をWとし、評価値をEとし、図3の擬似コードの手順により計算する。

評価に先立ってグランドトゥルースとなる、水平線の位置を指定した画像を353枚用意した。

2012年7月、2013年3月の実験航海で汐路丸のフライングブリッジ正面に設置したカメラで撮影。原画像の解像度は 4912×3264 であるが、今回はそれを1228×816に縮小した画像を使用した。

```
Integer ssd = 0;   //評価誤差の和
for(int x = 0; x <= W; x++){
    ssd += {L(x) – D(x)} 2;
}
E = ssd / W;
```

図3 評価値を求める擬似コード

評価に用いたコンピュータの CPU はクロック周波数3.3GHz４コア、メインメモリ12GBである。

6. 評価結果

画像353枚を処理し、1枚あたりにかかる処理時間を平均したところ、264.9ミリ秒であった。

5 で用意したデータを用いて評価した結果、評価値Eの平均値は762.2となった。Eは2乗誤差をとっているので、その平方根は 27.6 となる。この結果から、直線の平均のずれは約 27.6 画素である。この結果は、陸を含む場合に誤検出が見られその影響により平均のずれの値が増大したと思われる。また、ラベリングしたデータと検出したデータの誤差が3画素以下である割合は70%であった。そのうち、水平線に陸が半分かかっていても検出可能であった。

7. まとめ

本研究ではCannyエッジ検出器とハフ変換を用いることによって、画像中に陸が多く含まない場合、および荒天でない場合において、高精度な水平線検出が可能となった。1 枚あたりの処理時間が約 260 ミリ秒であることから、リアルタイムでの水平線検出が可能である。しかし、靄や霧が濃い場合などは検出することが困難であった。これについては、前処理において靄や霧を取り除く必要があると思われる。

今回新しく水平線検出における定量的に評価するための手法を導入した。本研究の評価だけでなく、現在存在する水平線検出のアルゴリズムに対して、評価をすることが可能になった。今回の結果を基準として、さまざまな水平線検出のアルゴリズムを比較し、評価していきたい。

8. 参考文献

(1) Tzvika Libe, Evgeny Gershikov, Samuel Kosolapov , “Comparison of Methods for Horizon Line Detection in Sea Images”, 2012 The Fourth International Conference on Creative Content Technologies, pp.79-85,2012.

(2) A. Miranda Neto, A. Corrêa Victorino, I. Fantoni and D. E. Zampieri, “Robust Horizon Finding Algorithm for Real-Time Autonomous Navigation based on Monocular Vision” ,Intelligent Transportation Systems (ITSC) 2011 14th International IEEE Conference on, pp 532-537, 2011.

(3) 古谷雅理, 鈴木惇司, 斉藤隆文, 長島雄大, “画像解析による操船サポートシステムの開発”, 日本航海学会論文集, Vol. 125, pp. 25−31, 2011.

(4) B. Zafarifar, H. Weda, and P. de With, "Horizon detection based on sky-color and edge features," in Visual Communications and Image Processing 2008 (SPIE), W. Pearlman, J. Woods, and L. Lu, Eds., vol. 6822, 2008, pp. 1-9, 2008.

謝辞

本研究では、持田高徳船長をはじめとする汐路丸の乗組員の方々には、データ収集の際に大変お世話になりました。ここに感謝の意を表します。

船舶画像からの対景の要約表示

学生会員〇熊橋　　秀（東京農工大学）　　非会員　斎藤　隆文（東京農工大学）
正会員　古谷　雅理（東京海洋大学）　　非会員　武井　　聡（東京海洋大学）

要旨

対景図の短所である全対景を表示できない問題と視点により見え方が変わってしまう問題を改善するために、ルートパノラマを対景図へ応用する。ルートパノラマを用いる事で、航路などの主要地点しか記載されていなかった対景図が、すべての地点で活用する事ができる。さらにルートパノラマを基に特徴を残しつつ情報を削減する要約画像を生成する。

船舶からの景観をルートパノラマ化する際の主な問題として、波による動揺と遠景の物体の伸張が挙げられる。波による動揺については、画像処理の代表的な手法であるテンプレートマッチングを用いて対策を行った。遠景の物体の伸張については、こちらも画像処理の代表的な手法であるステレオマッチングを用いて伸張の軽減を行った。

キーワード：情報処理、パノラマ、対景図

1. 背景と目的

対景図は、物標の方位をコンパスやレーダで測位して海図に記載する際に実際の物標が海図上のどの物標に該当するのか分からない場合に用いられる。この場合、対景図を参照することで測位した物標の名前を調べることができるため、測位した物標の名前を海図上で探し、船位を海図に記す事ができる。また、航海計画を作成する際に、事前に航行航路付近からの概略の対景を把握するために用いられる。しかし、記載されている対景が主要地点のみという点があげられる。また、山頂の見え方は見る地点によって異なるので、視点の変化に対応することができないという問題もある。そこで本研究では、対景図の短所である全対景を表示できない問題と視点により見え方が変わってしまう問題を改善するために、パノラマ画像を対景図へ応用する。パノラマ画像を用いる事で、航路などの主要地点しか記載されていいなかった対景図が、すべての地点で活用する事ができる。さらにパノラマ画像を基に特徴を残しつつ情報を削減する要約画像を生成する。

2. 関連研究

2.1　ルートパノラマ

船舶からの風景をルートパノラマとして表示することを考える。航海では肉眼による情報が重視されるため、あらかじめ航路の景観を一望できるルートパノラマがあれば、航海において１つの指針とすることができる。船舶からの風景をルートパノラマとするための課題として、波による動揺と、被写体までの距離が頻繁に変わることが挙げられる。既存研究で多く扱われてきた都市部の景観は、道路からほぼ一定距離の建物を主な対象としていた。これを解決することで、ルートパノラマの応用範囲は大きく広がると考えられる。

2.1.1　代表的なルートパノラマ生成法

既存のパノラマ生成手法はいくつかあるが、本研究では Zheng[(1)]の手法を参考にした。ルートパノラマとして出力したい景観を、車載カメラを用いて動画像として撮影する。次に、撮影した動画データから連番画像を出力する。連番画像とは、動画像を構成しているすべての静止画像に、時系列順に番号を振ったものである。最後に、得られた各画像の中央 1 列（以下、画素線）を抜き出し、時系列順に横方向へ繋ぎ合わせることでパノラマを生成する（図 1)。実際に作成したルートパノラマの一部が図 2 である。

2.2　対景図

対景図作成に関して、レーダの反射波による疑似対景図の作成をする研究[(2)]や地形の高度情報から対景図を作成する研究[(3)]が提案されている。

2.2.1　レーダ反射波による疑似対景図作成

レーダの反射波から物標のおおよその高さを計算し、疑似対景図を作成する。本研究は霧中航海などの視界制限状態における操船補助を目的としてい

る。信号強度は物標の有効断面積に比例し、物標の有効断面積はレーダーアンテナからの正面の投影面積に比例し、レーダーアンテナからの正面の投影面積は単位距離当たりの物標の傾斜角の正接に比例するので、信号強度は物標の傾斜角に比例する。この関係から物標の高さを計算し、実際の高さとして疑似対景図に表示している。しかし、この手法では物体の正確な輪郭を得ることが難しく、擬似対景図に表示されている物体の特定が困難である。

2.2.1 地盤高データを利用した対景図の作成

本手法では、国土地理院により整備された国内全域の地盤高データを利用した DTI(Digital Terrain Model)と海上保安庁発行の灯台表を用いる。三次元で表現した地図に陰線処理をし、山が透けて山の裏側の景色が映らないように処理し、その後三次元で表現された対景を二次元で表現する。このデータは昼間と夜間の切り替え可能なため、時間による使用制限が無い。また、山の名前や高さを表示する事が可能である。しかし、橋や高層ビルといった人工のランドマークが表示されない問題や、雨や霧といった天候に多少影響されるという問題がある。

そこで本研究では、ルートパノラマを利用した実画像による対景要約画像手法を提案する。ルートパノラマは経路上から見える景観を一望できるため、作成したルートパノラマと肉眼の情報を比較すれば船位確認が容易になると考えられる。また、航海中のカメラから得られる映像と予め作成しておいたルートパノラマとの間でマッチング処理を施すことによって、リアルタイムかつ自動的に現在の位置を推定するシステムへの応用も考えられる。

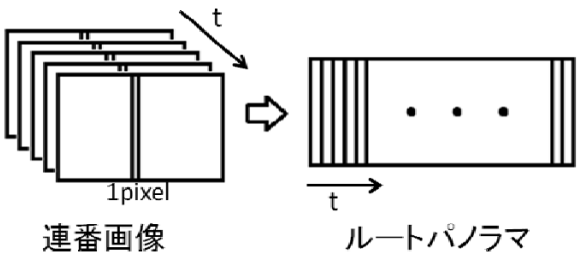


図 1 ルートパノラマの生成法

図 2 作成したルートパノラマの一部

3. ルートパノラマ作成上の問題点

3.1 波による動揺

問題点の 1 つとして、波による直線の歪みが挙げられる。波による揺れが多分に存在する動画データを用いた場合には、波に合わせてカメラ自体も揺れてしまうため、被写体が上下に揺れているように見えてしまう。そのため、揺れの存在する動画データを用いた場合、画素線を抜き出してただ繋げるだけの方法では図 3 のように被写体の直線形状を正しく保持できない問題が生じる。

図 3 波による動揺の例

本研究ではこの問題の解決方法として、テンプレートマッチングを用いた動揺補正の手法を提案する。最初に、1 枚の画像の一部分を抜き出し、テンプレートを作成する。次に、以降の画像とテンプレートマッチングを行い、上下のずれの値を導く。最後に、求めた値の分だけ画素線をずらして繋げる（図 4）。

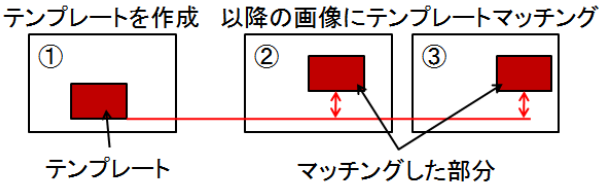


図 4 テンプレートマッチング

また、動画像を元にしているのでマッチングする部分は徐々に横にずれていき、いずれはマッチングする部分が完全になくなる。そのような場合に備えて、テンプレートは適宜更新するようにしておく。この方法によって動揺補正を行った結果が次の図 5 である。

図 5 動揺補正の結果

動揺補正が施されていることが確認できる。この

手法の欠点は、特徴的な物体が少ない風景ではテンプレートマッチングの精度が落ちてしまうことである。

3.2 遠近による影響

2 つめの問題点として、遠近による影響が挙げられる。画素線を抜き出してただ繋げるだけの方法では、遠くに存在する被写体ほど横に伸びてしまうという問題が生じる。例えば、図 6 の原画像上の建築物は、パノラマ上では図 7 のように形状が横に伸びてしまう。

図 6 動画上での建築物

図 7 パノラマ上での建築物

この問題の解決方法として、本研究では視差マップを用いた手法を提案する。最初に、連番画像にステレオマッチングを用いて視差マップをパノラマにしたもの（以下、視差パノラマ）を作成する（図 8、9）。その後、視差パノラマの下半分にフィルタリングを施し、フィルタ領域内での画素値の平均値を求める。最後に、閾値を定め、求めた値に応じてパノラマから間引く部分を決定する。

図 8 通常のパノラマ

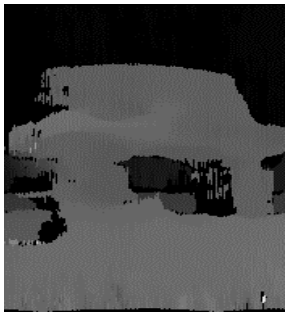


図 9 視差パノラマ

次の図 10 が提案手法の実行結果である。図 7 に比べて伸張度が減少していることが確認できる。この手法はある程度伸張度合いを減らすだけに留まり、完全に正しい状態で描写できるわけではない。

図 10 実行結果

4. 要約表示

NPR とは Non Photorealistic Rendering の略である。NPR は必要な視覚情報が取捨選択されるため、実写画像に比べて効率的な情報伝達が可能になる。本研究では、パノラマ画像に NPR 手法を適用し、要約表示をする。パノラマ画像に、サイズの異なるガウシアンフィルタを複数組み合わせることによって、周波数分解を行い、各周波数帯域別に重み付けをしたものを再合成することで、帯域ごとの系統的な詳細度を制御し、要約画像を生成する。生成結果を図 11-12 に示す。本結果画像から特徴的な情景を表示していることを示している。

図 11 NPR による要約表示（カラー）

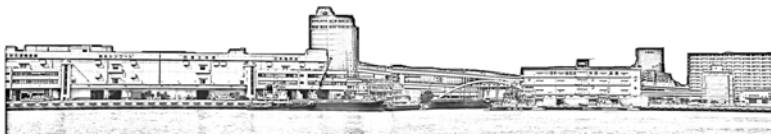


図 12 NPR による要約表示（グレースケール）

5. おわりに

本稿では、対景図作成のための船舶画像のルートパノラマ作成、表示手法について述べた。まず、船舶画像において問題となる動揺をテンプレートマッチングにより解決した。また、対岸とカメラとの距離により伸長度が異なる問題を視差マップにより軽減した。これにより高精度なルートパノラマ画像が生成できた。

要約表示画像に対して実際にポジションを入れ

る際にどの構造物を用いれば良いのか判別するのが難しい。今後は利用者が、実際の景色を見たときに、ポジションを入れやすいランドマークを他の構造物に比べて誇張して表現する方法を考案する。

参考文献

(1) J. Y. Zheng, “Digital Route Panorama”, IEEE Multimedia, pp.57-68, July-Sept, 2003.
(2) 田原正信・高木洋・岸本雅夫：レーダ信号による疑似対景図表示の実用化について，日本航海学会論文集 ， vol.94, pp.97-107,1996.
(3) 塚本秀史・村上絵里：数値地図による対景図の電子化，日本航海学会論文集 ， vol.135, pp.131-136,1998.

画像処理を用いた
計測距離にロバストな喫水自動読取方式

学生会員〇岡本　章裕（神戸大学大学院）　　正会員　吉田　大海（大阪大学）
非会員　田中　直樹（神戸大学）　　正会員　廣野　康平（神戸大学）

要旨

現在、船舶の喫水計測は、航海士やサーベイヤーが目視で読取を行うのが主流である。しかし荒天時は、うねりによる船体動揺や海面の上下動が強くなり、そうした悪条件のもとでの喫水計測は困難かつ落水などの危険が伴うものである。そのため、非接触・高精度な喫水の自動読取方式が確立されることは、船舶の安全運航および喫水検査業務を大きく支援するものと考えられる。また当該技術は、読取の客観的な指標を与える一つの基準にも成り得るため、商業的な観点からも重要な意義があると考えられる。

本稿が提案する喫水読取方式は、動画撮影された喫水の映像から、画像処理によって喫水読取を行う方式である。同方式は計測距離にロバストであるという特徴を持ち、さらには輝度や色の変化に対しても、一定の頑健性を有している。そのため、様々な環境下での利用が期待できる。

また、本方式を構成する学術的背景は画像処理であり、エッジ集積による海面領域の特定や、矩形判定に基づいた可変テンプレートによるドラフトマーク認識といった技術が導入されている。これらの技術は、文字認識や領域セグメンテーションなどの分野に応用が可能であり、関連研究への波及効果も期待できる。
キーワード：　情報処理、画像処理、テンプレートマッチング、喫水計測

1. はじめに

喫水検査(Draft Survey)により穀物、鉱石、石炭、塩などのばら積み貨物の取引量を決定することは国際的な商習慣となっている。これは利害関係の対立する荷主と運送人のもとで検査員(Surveyor)が公正な第三者として喫水を読み取るもので、両者の合意が得られない場合その後の運航に遅延を引き起こしかねない重要なプロセスである。

本稿では、喫水標に正対して撮影された喫水の映像から、画像処理により自動で喫水の値を読み取る方式を提案する。同方式は可変テンプレートマッチングを用いるため対象までの距離にロバストであり、また、ラプラシアンエッジをベースに海面特定を行なっているため、輝度や色の変化に対しても一定の頑健性を有す方式となっている。

2. 関連技術

本方式は以下の要素技術から構成される。

(1) ラプラシアンオペレータによるエッジ検出
(2) 判別分析２値化法
(3) 矩形判定によるノイズ除去とスケール特定
(4) テンプレートマッチングによる喫水標認識

上記技術に対し、以下簡単に説明を行う。

2.1　ラプラシアンオペレータ

ラプラシアンオペレータとは、3ｘ3 もしくは 5ｘ5 の走査窓を用いて画像の２次微分を計算していくことにより、画像の輪郭情報を出力するエッジ検出オペレータである。画像は標本化された画素の集合、即ち離散データであるため、微分における微小区間の計算は、参照画素と隣接画素の差分となる。例えば 3ｘ3 のラプラシアンオペレータによるエッジは、以下の様な行列を画像に畳み込むことにより、出力される。

$$\begin{matrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & -4 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{matrix} \quad (1)$$

出力結果は、３章の Fig. 1 に示す。本稿が提案する方式において、ラプラシアンオペレータは主に海面領域の特定に用いる。これは海面領域が、エッジが集積したテクスチャ領域として判別・特定できる為である。領域特定に関する詳細は、３章で述べる。

2.1 判別分析２値化法

判別分析２値化法は、画像を一つの閾値で画像全体を２値化する大局的２値化方式である。同方式は画像２値化を２クラス問題と見なし、黒画素クラスと白画素クラスの分離度が最大となるような閾値を選択する。実用面では、濃淡ヒストグラムを対象として計算する場合、黒画素クラスと白画素クラスのクラス間分散が最大となる閾値を算出すれば良い。(2)式に、クラス間分散の算出法を示す。

$$\sigma_b^2 = \frac{\omega_1(m_1 - m_t)^2 + \omega_2(m_2 - m_t)^2}{\omega_1 + \omega_2} \quad (2)$$

出力結果例は、３章の Fig. 3 に示す。

2.3 矩形判定処理

矩形判定処理は、２値化された画像に対し白領域もしくは黒領域を連結成分毎にラベリングしていき、ラベルリングされた各領域の最小外接矩形（バウンディング・ボックス）を求め、それを複数の条件を基準として削除する、ノイズ除去方式である。以下に条件式の例を示す。

(1) 外接矩形の縦横比
(2) 充填率（領域の面積/外接矩形の面積）
(3) 領域の面積
(4) 画像の横長と外接矩形の横長の比
(5) 画像の縦長と外接矩形の縦長の比
(6) 画像と領域の面積比

設定する条件式やその閾値、あるいはそれら条件の組み合わせ(AND や OR など)は、対象画像や抽出目的により様々である。本提案方式では、船舶を捉えた映像からの喫水標の抽出が目的となっているため、それらに基いて設定される。

2.4 テンプレートマッチング

テンプレートマッチングとは、探索対象の画像パターンをテンプレートと定義し、参照画像との類似度計算を行いながら、テンプレートのパターンを探索する方式である。類似度計算は、ユークリッド距離、市街地距離などがあるが、本提案方式では輝度の変動に強い正規化相互相関（明るさで正規化したコサイン距離）を尺度とし、喫水標の特定・認識を行なう。正規化相互相関を(3)式に示す。

$$R_{ZNCC} = \frac{\sum_{j=0}^{N-1}\sum_{i=0}^{M-1}\left((I(i,j)-\bar{I})(T(i,j)-\bar{T})\right)}{\sqrt{\sum_{j=0}^{N-1}\sum_{i=0}^{M-1}(I(i,j)-\bar{I})^2 \times \sum_{j=0}^{N-1}\sum_{i=0}^{M-1}(T(i,j)-\bar{T})^2}} \quad (3)$$

$I(i,j)$が入力画像、$T(i,j)$が参照用テンプレート画像に対応しており、$\bar{I}$および$\bar{T}$は各々の領域の平均輝度値である。喫水標は文字幅が２ｃｍ、縦幅が 10ｃｍと規格が統一され、また本稿では読取条件を船舶と正対している状態に限定しているため、テンプレートマッチングにおいて最も大きな課題の一つである透視変換の影響を考慮しなくて良い。

これら関連技術の具体的な用途を述べる。2.1 は、喫水線の特定に用いる。海面をエッジが集積したテクスチャと見なし、微分値の集積・閾値判定により海面・喫水線を特定する。2.2 は、喫水標の切り出しに用いる。喫水標は船体に対して高コントラストであるため、判別分析による分離が可能である。2.3 は、雑音除去に用いる。２値化画像の各領域で外接矩形を作成し、縦横比・充填率を基準に喫水標の領域判定を行う。2.4 は、喫水標の認識に用いる。矩形判定で推定された喫水標のスケールを、参照用テンプレートに反映させ、マッチング・認識を行う。

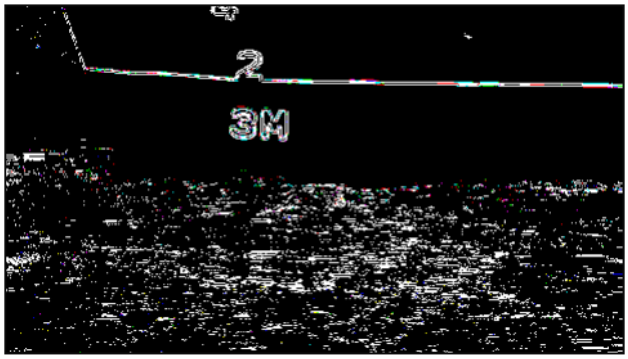
3. 提案アルゴリズム

本稿の提案する喫水読取り方式について述べる。

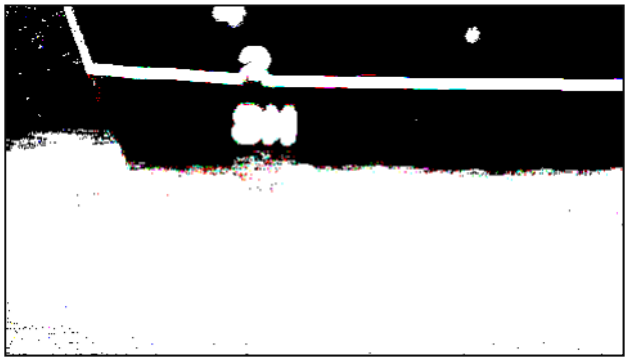
【喫水線の特定】

step1: ラプラシアンエッジをフレーム毎に検出後・２値化し、集積させて海面領域の特定を行う。エッジが集積された画像を“E”(Edge Image)とする。入力画像とエッジ画像“E”(Edge Image)を Fig. 1 に示す。

(a) Input image



(b) Edge detection by Laplacian operator



(c) “E”(Edge Image)

Fig. 1 Sea surface estimation by integration of Laplacian

step2： “E”の画素値を、y 座標ごとに水平方向へ積分・平均して出現確率を求め、２値化を行なって海面領域を特定する。この画像を画像の最下端より垂直上方へ走査し、喫水線を検出する。この y 座標の値を“DL”(Draft Line)とする。Fig. 2 に特定された海面領域の画像、そこから検出された“DL”を記した画像を示す。

(a) Sea surface segmentation based on probability of horizontal component

(b) Sea surface segmentation by Binarization

(c) DL”(Draft Line) image

Fig. 2 Draft Line Detection

【喫水標の切りだし】

step3： 入力動画に判別分析２値化法を適用し、喫水標と船体のセグメンテーションを行う。２値化後の画像を“B”(Binarized Image)とする。また、輝度反転のなされた画像も取得し、“BR”(Binarized Rivese Image)とする。Fig. 3 に“BR”(Binarized Riverse Image)を示す。

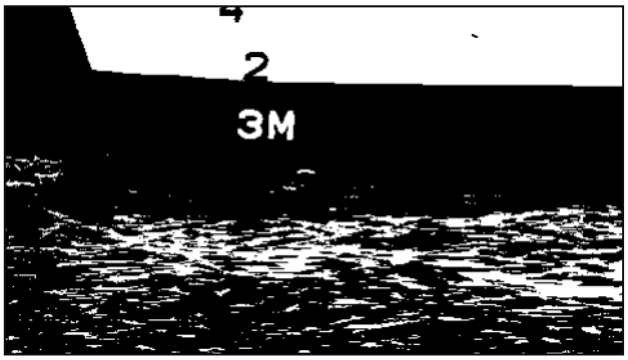


Fig. 3“BR”(Binarized Riverse Image)

step4： “B”と“BR”に対し、矩形判定処理でノイズ領域を除去する。閾値は、喫水標が定規格であ

るという点を踏まえ、縦横比・充填率・平均長で定める。また、生存領域の縦画素長を“DML”(Draft Mark Length)とする。

【喫水標の読取り】

step5： 用意した喫水標テンプレートを、バイキュービック法で“DML”のスケールに一致させる。

step6：“B”と“BR”を統合して画像“C”(Combined Image)とし、step5 のテンプレートを用いてマッチング・認識を行う。Fig. 4 に“C”(Combined Image)を示す。

Fig. 4“C”(Combined Image)

step7： 喫水座標“DL”と矩形長“DML”、喫水標の認識結果に基づいて、喫水値を特定する。喫水値は、船体の上下動（喫水標の上下動で判定）を考慮して、集積されたフレーム分の平均値を出力値とする。

4. 実験結果と展望

Fig. 5 Draft line estimated by proposed method

本方式による出力結果を Fig.1 に示す。船体に描画された白線が、喫水値として推定された位置であり、結果は 289.8cm となっている。

第２章にある通り、テンプレートマッチングは正規化相互相関を用いて実施されるため輝度の変化に対して頑健となり、また、テンプレート自体を認識結果に応じてスケール変化させるため、計測距離に対し一定の頑健性を有した方式となった。

5. おわりに

本稿では、画像処理を用いた喫水自動読取り方式を提案した。同方式は、正規化相互相関による可変テンプレートマッチングを用いることにより、喫水標の拡縮に頑健、即ち撮影距離に対してロバストな方式となった。また同マッチング方式は明るさの正規化を行なうため、輝度に対しても頑健な方式となった。

現状の課題としては、フレーム間の差分を利用した読取りの高速化、透視変換行列を用いたマッチングによる撮影角度への対応、喫水線のより理論的な算出等が挙げられる。今後随時これらに改良を加え、より実用性の高い方式を提案・開発していく予定である。

6. 参考文献

(1) 航海便覧編集委員会：航海便覧 3 訂版，p. 783，海文堂出版，1991.

(2) 宮本榮：図解 船舶・荷役の基礎用語，p. 102，成山堂書店，2008.

(3) 運航技術研究会 : 載貨と海上輸送，p. 126，成山堂書店，2000.

(4) ディジタル画像処理編集委員会：ディジタル画像処理，画像情報教育振興協会，2004.

(5) Kouhei HIRONO, Wataru SERA, Masaki FUCHI and Kinzo INOUE : A Theoretical Study of the Draft Reading Device, 日本航海学会論文集, No. 114, pp. 165-170, 2006. 3.

大規模気象・海象モデル計算による インド洋ウェザールーティングシステムの構築

正会員　○嶋田　陽一（神戸大学）　非会員　高橋　桂子（海洋開発研究機構）
正会員　　塩谷　茂明（神戸大学）

要旨

ウェザールーティングの実用化の一環として、簡単な手法であるが気象・海象モデル予測計算によりインド洋においてウェザールーティングシステムを構築した。予測計算期間で等時間曲線法を用いて航路探索を行った。最短距離航路では直進するアラビア海上において船舶が変針する結果は、ウェザールーティングの効果によるものと考えられる。

キーワード：航海・地球環境、気象・海象モデル、インド洋、ウェザールーティング

1. 緒言

インド洋は東アジアと欧米諸国の間の海上輸送において重要なスエズ運河に接し、世界各地へ石油を輸送する重要な航路を含む海域である。航海中の気象・海象状態を活用した最適な航路を選択するウェザールーティング(以下、WR)が有効な自然条件は航路の東西距離が長く、航路選択の可能な海域が広いことなので(ウェザー・ルーティング研究グループ)[1]、インド洋は北太平洋と比較してWRの有効性が低いかもしれない。しかし、過去の波浪モデルの結果から、夏季において季節風は極めて強くそれに伴い月平均の有義波高も高く、その一方、冬季において有義波高が低いという報告があるので(磯崎･鈴木[2])、ある程度のWRの効果が期待される。インド洋におけるWRについての過去の研究では、Padhy et al.[3]、Panigrahi et al.[4]が衛星データを用いたWRの手法を開発したが､WRの実用化を目指した研究開発とは言い難い。そこで本研究では、WRの実用化の一環として、簡単な手法であるが気象・海象モデル予測計算によりインド洋においてWRのシステムを構築する。

2. 実験概要

2.1　波浪及び風データ

波浪データについてはNOAA/NCEP（National Oceanic and Atmospheric Administration/National Centers for Environmental Prediction）で開発された第3世代波浪モデルWAVEWATCHIII（Tolman[5]）で計算されたデータを用いた。波浪モデルに入力するための風データについては海洋研究開発機構地球シミュレータセンターマルチスケールモデリング研究グループで開発された気象モデルMSSG-A(Multi-Scale Simulator for the Geo-environment: Atmosphere component)を用いた(Takahashi et al.[6])。詳細について嶋田他[7]を参照されたい。

2.2　航海シミュレーション

本研究では最短時間航路を最適航路とする。航路探索方法は等時間曲線法を採用する(例えば：ウェザー・ルーティング研究グループ[1])。航路は、ソコトラ島(アデン湾口)～バンダアチェ沖(スマトラ島北端)間である。ただし、本研究では気象・海象状態を有効活用した航路を重要視し、ソマリア半島周辺海域の治安状況を考慮していないので注意されたい。航海シミュレーション対象期間は2010年6月25日から7月7日である。変針時間間隔は12時間である。3日毎予測計算は行い、その期間において航路探索により最も目的地側にある航路を採用するという過程を到着するまで繰り返す。

3. 結果

図1は3日間毎の航路探索状況を示す。図1(上)において、出発点から航路探索状況はおおよそ放射上に航路を探索していることがわかる。これらの航路の中で最も東に位置している航路を最適航路として採用する。図1(中)において探索において陸地、島を判断し、セイロン島南沖合の航路を採用する。図1(下)においてはベンガル湾も含めて放射状に探索し目的地に到着することができた。この最適航路は、おおよそ最短距離航路と類似するが、アラビア海上

において船舶が変針することは、ウェザールーティングの効果によるものであると思われる。詳細については講演時に報告する。

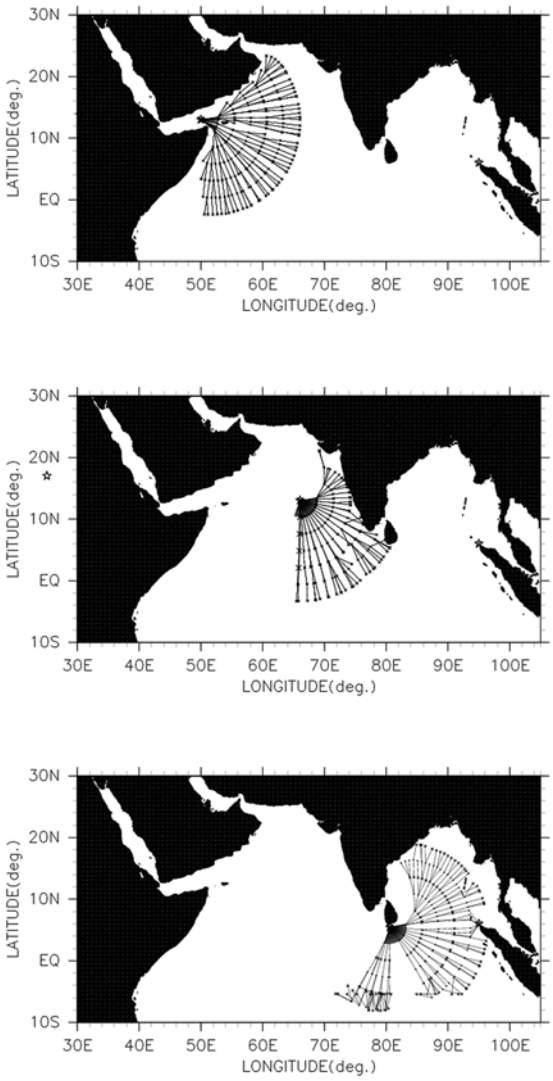


図１航路探索状況（上から計算期間 2010/06/25-0628, 06/28-07/01, 07/01-07/04）

参考文献

(1) ウェザー・ルーティング研究グループ：ウェザー・ルーティングー気象情報に基づく最適航法ー, pp.281, 成山堂書店, 1992.

(2) 磯崎一郎・鈴木靖：波浪の解析と予報, pp.274, 東海大学出版会, 1999.

(3) Chinmaya Prasad Padhy, Debabrata Sen, Prasad Kumar Bhaskaran: Application of wave model for weather routing of ships in the North Indian Ocean, Natural Hazards, Vol.44, pp.373-385, 2008.

(4) J.K.Panigrahi, C.P.Padhly, D.Sen, J.Swain, O.Larsen: Optimal ship tracking on a navigation route between two ports: a hydrodynamics approach, J. Mar. Sci. Technol., Vol.17, pp.59-67, 2011.

(5) Tolman, H. L.: User manual and system documenta¬tion of WAVEWATCH-III version 2.22., NOAA/NWS/NCEP/OMB, Tech. Note 222, 133pp, 2002.

(6) Takahashi, K., X. Peng, K. Komine, M. Ohdaira, K. Goto, M. Yamada, H. Fuchigami, T. Sugimura: Non-hydrostatic atmospheric GCM development and its computational performance, Use of High Performance computing in meteorology, Walter Zwieflhofer and George Mozdzynski Eds., World Scientific, pp.50-62, 2005.

(7) 嶋田陽一・高橋桂子・塩谷茂明: 国際海上輸送のための気象・波浪大規模予測システムの構築, 日本航海学会論文集, No.127, pp.197-203, 2012.

国際コンテナ輸送における地域間のつながりにみる東アジアに着目した各地域の特徴

学生会員○竹内　玲（東京海洋大学大学院）　正会員　黒川　久幸（東京海洋大学）

要旨

2002 年以降、我が国では「国際競争力の低下」を根拠にスーパー中枢港湾政策と国際コンテナ戦略港湾政策の 2 つのコンテナハブ港湾政策を打ち出してきたが、政策の根拠や評価方法については港湾の特徴への考慮が不十分であり、多くの指摘や疑問が存在する。

コンテナハブ港湾を形成する上では、荷役量、寄港船舶、港湾設備の特徴に沿って計画が行われる必要がある。しかし、寄港船舶の特徴ついての検討が十分ではない。本研究では世界の地域・地区間の輸送のつながりを明らかにし、東アジアにおける各地域の特徴を明らかにした。

キーワード：物流・海運、国際コンテナ戦略港湾、国際海上コンテナ輸送、港湾政策、船舶動静データ

1. はじめに

1.1 研究背景

我が国の港湾は横浜港が 2.4 百万 TEU のコンテナ取扱量で世界 10 位に位置した 1996 年以降、世界のコンテナ取扱量上位 10 位以内から姿を消した[(1)]。

日本政府はこの現状を、我が国の港湾の「国際競争力の低下」と捉え、「国際競争力」の向上を目指し 2002 年にスーパー中枢港湾政策[(2)]、我が国に国際コンテナハブ港湾を育成することを目標として 2010 年に国際コンテナ戦略港湾政策[(2)] の 2 つのコンテナハブ港湾政策を展開した。これらの政策では一貫して、港湾のコンテナ取扱量や船舶の寄港回数の減少を根拠に我が国の「国際競争力の低下」[(3)]を主張しており、問題解決の為に「選択と集中」を目的としている。しかし、港湾を利用する船舶の就航地域や船型、貨物集荷の経路等の特徴は港湾によって大きく異なる。この特徴に対して岸壁施設や荷役能力や貨物保管施設等の港湾施設の必要な機能は異なる。政府が「国際競争力」向上の為に提示する港湾政策では港湾の特徴への考慮が不十分であり、港湾政策の評価方法などの根本的な問題意識について様々な指摘[(4)(5)]や疑問[(6)]が論じられている。

1.2 研究目的

コンテナハブ港湾の形成を計画する上では、港湾が取り扱う荷役量、利用する船舶の就航地域や船型等の寄港船舶の特徴、ガントリークレーン、バースや保管施設等の港湾設備の利用状況の特徴に沿う必要性があると指摘[(4)(5)(6)]されている。

既存研究では港湾が取り扱う荷役量や港湾設備利用の特徴について報告がなされている。そこで本研究では特に寄港船舶の特徴について検討する。

寄港船舶の特徴については、鳥海[(7)]が船舶動静データを用いてコンテナ船の寄港順序を明らかにしたものや、瀬間ら[(8)]、赤倉ら[(9)]、竹内ら[(10)]が寄港船舶の就航地域について明らかにした研究がある。しかし、コンテナ船の就航地域間のつながりについての分析が残されており、ハブ港湾政策を計画する上で注意すべき点を検討するために、本研究で世界全体を9地域33地区に分割して地域や地区間のつながりの特徴を明らかにする。

2. 分析データ

本研究では InformaPlc 社の Lloyd's List Intelligence(以下 LLI)より提供された有料の船舶動静データを用いた。船舶動静データは船舶が港湾や運河等のノードに到着するたびに記録され、1 行のデータごとに到着・出帆日時、到着・出帆予定日時、航海状態、データの更新日等の項目が記録されている。また船舶動静データ内の各船舶の船型、喫水等の要目については別途詳細なデータが付属している。LLI 提供の船舶動静データにはノードの地理情報が記載されているが、本研究では世界の地理を大きな集合で分析するために国連の地域区分と LLI の分類を元に、世界を 9 地域 33 地区に分類した。

なお、本研究では 2010 年 1 月 1 日から 12 月 31 日までの 1 年間分の船舶動静データを使用した。使用にあたっては、船舶動静を捉える際に所在地を必

ず港湾にあることとし、港湾以外のデータを除外した。また、年内に廃船される船舶と係船される船舶は除外している。

3. ハブ港湾の形成と機能

ハブ・アンド・スポーク理論については多数の文献[11][12][13]ですでに論じられているが、ハブ港湾とは海上輸送ネットワーク上の拠点港湾を指す。ハブ港湾を置かない場合では、港湾間の輸送数分の航路が作られる。しかし、ハブ港湾をそれらの複数港湾の中に設定することで一度ハブ港湾に貨物を集荷し、ハブ港湾間の基幹航路を軸にしたネットワークが形成され輸送が集約される[11]。

このような船舶、貨物が集まるハブ港湾が形成される決定要因について、十分な貨物集荷が必要であるとされている[12][13]。また、石原ら[12]は港湾設備と集荷の関係が希薄である点について指摘しており、中田ら[13]は港湾管理者が港湾をハブと位置づけたとしても、海上輸送の場合、船社が港湾をハブとして使うかによって決まると指摘しており、貨物需要の他に、地勢的に他のハブ港湾と近いことの必要性、経済性や時間などのコストが集約前と比べて優れていることが必要であると指摘している。

貨物集荷については、Huang ら[14]や Song ら[15]によるとハブ港湾は必ずしも背後地の貨物取扱量が多いことがハブ港湾となる要因ではなく、周辺地域や多地域からの集荷を集めることや港湾での高付加価値サービスの提供による貨物集荷が考えると報告している。これらのことから、ハブ港湾といっても、備える機能の異なるハブ港湾が存在すると意識しなくてはいけない。津守[16]では港湾を荷役・生産の一体港湾である産業港湾、荷役作業と多様な物流ニーズへの対応が可能な港湾の商業港湾、トランシップ港の 3 種類に分類している。以上より、ハブ港湾を大きく見ると背後地貨物集荷型、トランシップ集荷型の 2 つに分類できると考えられる。

本研究では、ノード間輸送を分析することによって、背後地貨物集荷型港湾とトランシップ集荷型の港湾の別を検討することができる。

4. 分析結果及び考察

4.1 地域間輸送

図 1 では世界全体の地域間の輸送を示す。年間 500 回以上の地域間輸送を抽出した。図中の線の太さは他地域間の輸送回数に比例して太くなる。

最も多い地域間輸送は欧州・中東間の輸送である。欧州から中東に向けた輸送は 8,996 回、中東から欧州に向けた輸送は 8,551 回である。

東アジアに着目すると、南米を除いたすべての地域と年間 500 回以上の地域間輸送がある。東アジア・中東間の輸送が最も多く、中東から入ってくる輸送が 5,599 回、中東に出て行く輸送が 5,248 回である。次いで、東アジア・北米間の輸送が多く、北米から入ってくる輸送が 3,710 回、北米に出て行く輸送が 3,482 回である。三番目に東アジア・欧州間輸送が多く、欧州から入ってくる輸送が 1,256 回、欧州へ出て行く輸送が 1,734 回である。

以上のことより、東アジアを中心とした北米・欧州とつながる、東西基幹航路上の地域間のつながりが強いことが分かる。

また、東西基幹航路上以外の地域では、オセアニアとアフリカとの輸送回数は出入り共に 1,000 回を超える。特に、オセアニアと東アジアは多地域と比較し、強いつながりを持つといえる。

東西基幹航路上の東アジア・欧州航路は欧州直行よりも中東経由が多いと考えられる。これは赤倉らの貨物流動の研究[9]で示されるように、船社は中東における貨物集荷も見込めるため中東での貨物集荷を行うように航路設計を行うと考えられる。

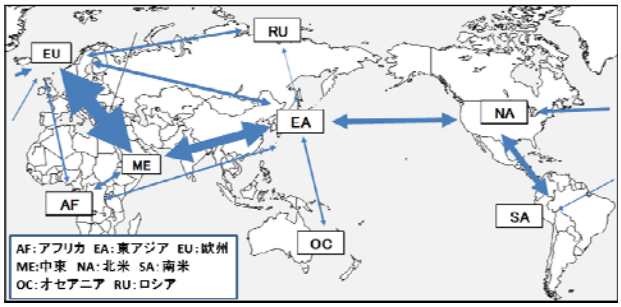
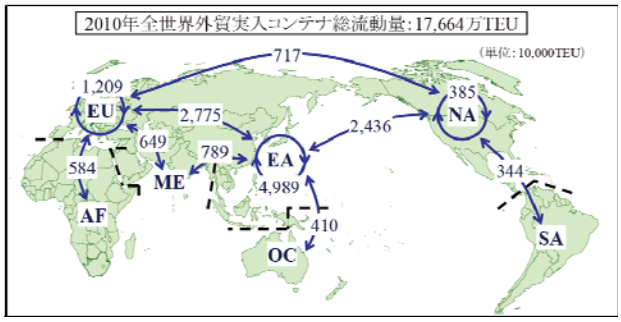


図 1 世界全体の地域間の輸送



出所: 赤倉、後藤、瀬間[8]より引用。

図 2 2010 年の世界の地域間貨物流動

4.2 地区間輸送

4.2.1 世界全体の地区間輸送

本節では、世界全体を9地域から33地区に分類し、分析を行った結果及び考察について論じる。

図3では世界全体の地区間輸送を示す。ただし、東アジアと欧州の地域内輸送については輸送が多いため除いた。東アジアについては図4と図5に示す。世界全体の地区間輸送については年間500回以上の地区間輸送ついて抽出した。実線は地区間双方向の輸送回数の差が 50 回以内、点線は片方向のみの輸送回数が500回以上または双方向でも輸送回数の差が150回以上の場合に使用した。

東南アジア地区とインド亜大陸地区の輸送が西向き2,648回、東向き2,421回で最も大きい。域内の地区間の輸送も含めて線の集まり（地区への出入りの数)については、東南アジア地区が最も密で、6地域から入り、7地域から出る線の合計13本が集まっている。

東アジアとその他地域間の地区間輸送に着目する。東アジア・欧州航路上の輸送に関わると考えられる東アジアと中東・欧州との輸送はすべて東南アジア地区と直接つながりあっていることが分かる。

東アジア・北米航路上の東アジアと北米を直接つなげる輸送では、東航と西航で異なる結果が現れている。東航では韓国地区が614回と最も多く、次いで長江デルタ地区が507回である。西航で500回を超える輸送は日本太平洋側地区のみで1,130回である。いずれも、北米太平洋側地区からの出入りである。

地域間輸送で東アジアとつながりが強かったオセアニアとの輸送は東南アジア地区から出入りが多いことが分かる。

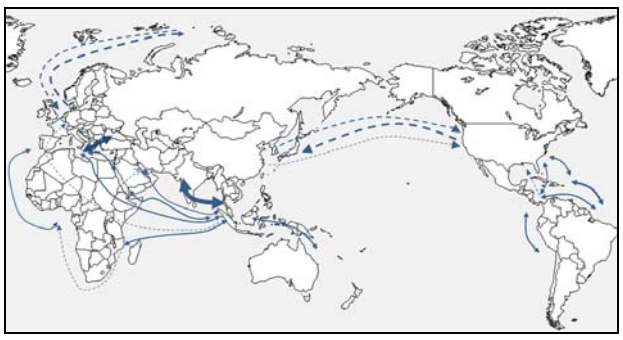


図3　世界全体の地区間輸送

4.2.2 東アジアの地区間輸送

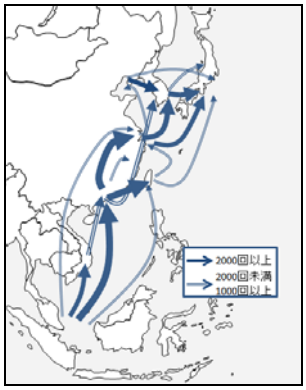
東アジア内の輸送が非常多いため、輸送回数が1,000 回以上の輸送を抽出し、北・東向きの輸送と南・西向きの輸送に分けた。1,000 以上 2,000 回未満については白抜きとした。また、双方向の差が500回以内であれば実線とした。

珠江デルタ地区は東アジア内の6地区への始点、7 地区からの終点であり東アジアで最も集散数が多い。長江デルタ地区が東アジア内の 6 地区への始点・終点であり珠江デルタ地区に次いで多い。中国国内では長江デルタに次ぐ地域として環渤海地区があるが、両地区は環渤海地区の2倍以上であり中国国内でも中心的に集まってきている地区であることが分かる。

長江デルタ地区と珠江デルタ地区は相互に 2,000 回以上の輸送があり強いつながりを持つ。長江デルタは日本太平洋側地区と韓国地区と相互に2,000回以上の輸送があり強いつながりを持ち、珠江デルタ地区は台湾地区、東南アジア地区と相互に2,000回以上の輸送があり強いつながりを持つ点で特徴が異なる。また、長江デルタ地区は北米西航で輸送量が多くつながりが強いことを留意する必要がある。

東南アジア地区は東アジアの4地区への始点・終点であり日本太平洋側地区に次いで5番目の集散数がある。ただし、東南アジア地区は東アジア外から多くの集散がある。

日本太平洋側地区に着目すると、北米太平洋地区と長江デルタ地区とつながりを持つ点で韓国と共通点がある。環渤海地区とのつながりは持たず、日本海側地区とのつながりも弱いが、台湾地区とのつながりを持つ。



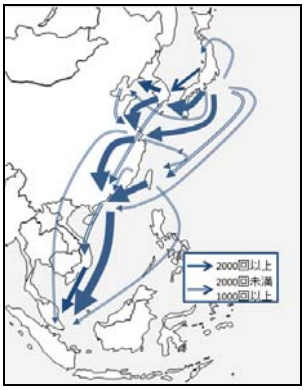


図4　東アジア地区間の北東方面の輸送（左）
図5　東アジア地区間の南西方面の輸送（右）

4.2.3 地区間輸送のまとめ

本節の結果から地域間のつながりについて以下

の様なことが述べられる。

東アジアについて着目すると、東アジアは東西基幹航路上の北米と欧州との中継地点になる中東と強いつながりをもち、また他地域と比べてオセアニアと強いつながりを持つ。北米とのつながりについては日本太平洋側地区が入口、韓国地区、長江デルタ地区が出口となり、欧州、中東、オセアニアとのつながりについては東南アジア地区が出入り口になっている。東アジアの集散地としては、長江デルタ地区と珠江デルタ地区が挙げられる。

また、我が国の港湾が東アジアにおけるハブ港湾の形成を目指す上では背後地貨物集荷型ハブ港湾を目指すべきである。周辺地域からの貨物集荷を集めるトランシップ型港湾となることは非常に困難である。ただし、トランシップにより貨物集荷を増やす為には、北米貨物について可能性が残る。特に多地域と比べて台湾とのつながりが強く、台湾からの集荷を増やすことにも着目すべきである。

5. おわりに

本研究では、世界の地域と地区間のつながりを明らかにし特に東アジアに着目することで以下の様な結論を得た。

① 東アジア外と直接のつながりを持つ地区は、東南アジア地区、日本太平洋側地区、韓国地区、長江デルタ地区の4地区である。これら4地区が東アジアと多地域の主な出入り口と言える。

② 特に①で挙げられた4地域の中でも特徴は異なる。東南アジア地区は中東、欧州、アフリカ、オセアニアの東アジアから見て西及び南方面の地域への出入り口である。韓国地区と長江デルタ地区は北米への出口であり、日本太平洋側地区は北米からの入り口といえる。

③ 長江デルタ地区と珠江デルタ地区は東アジア内の中心的な集散地であると言える。長江デルタ地区は東アジア北部、珠江デルタ地区は東アジア南部とのつながりが強い。

④ 日本太平洋側地区は韓国と比べ、日本日本海側地区とのつながりが弱いが、台湾地区とのつながりは強い。

参考文献

(1) オーシャンコマース, 国際輸送ハンドブック, オーシャンコマース, 1998-2013.

(2) 国土交通省:HP, スーパー中枢港湾政策の総括と国際コンテナ戦略港湾の目指すべき姿, 国土交通省, 2010.

(3) 日本経済団体連合会, 経団連タイムス, No.3074, 2012.2.

(4) 津守貴之, 日本港湾の「国際競争力」とは何か～日本港湾の機能集積の方向性～, 海事交通研究（年報）, 第55集, 2006.

(5) 二村真理子, 港湾競争力に関する考察, 海事交通研究（年報）, 第58集, 2009.

(6) 松尾俊彦, 日本の港湾政策に関する一考察, 海事交通研究（年報）, 第59集, 2010.

(7) 鳥海重喜, 海上航路ネットワークを用いたコンテナ船の運航パターン分析, 経営の科学, 第55号6巻, pp.359-367, 日本オペレーションズ・リサーチ学会, 2010.6.

(8) 瀬間基広, 赤倉康寛, 国総研資料第642号: 世界のコンテナ船動静及びコンテナ貨物流動分析(2011), 国土交通省国土技術政策総合研究所, 2011.6.

(9) 赤倉康寛, 後藤修一, 瀬間基広, 国総研資料第689号: 世界のコンテナ船動静及びコンテナ貨物流動分析（2012）, 国土交通省国土技術政策総合研究所, 2012.6.

(10) 竹内玲, 黒川久幸, 鶴田三郎, 船舶動静データからみる我が国のコンテナ港湾の特徴に関する研究, NAVIGATION, 第182号, pp.39-49, 日本航海学会, 2013.10.

(11) 国領英雄, 現代物流概論, pp.166-169, 成山堂書店, 2007.

(12) 石原伸志, 合田浩之, コンテナ物流の理論と実際, pp.80-86, 成山堂書店, 2010.

(13) 中田信哉, 橋本雅隆, 嘉瀬英昭, ロジスティクス概論, pp.238, 実教出版, 2007.

(14) Wen-Chih HUAN, Hsu-His CHANG, and Ching-Tsyr WU, A MODEL OF CONTAINER TRANSSHIPMENT PORT COMPETITION: AN EMPIRICAL STUDY OF INTERNATIONAL PORTS IN TAIWAN, Journal of Marine Science and Technology, Vol.16, No. 1, pp.19-26.2008.

(15) Dong-Wook SONG, Photis M PANAYIDES, MARITIME LOGISICS, pp.195-199, Kogan Page, 2012.

(16) 津守貴之, 日本のコンテナ港湾の競争力再考, 岡山大学経済学会雑, 第42号4巻, 岡山大学, pp.41 -62, 2011.

中国の鉄鉱石輸入における CO_2 排出量の現状把握及び削減効果の検証

学生会員○　成　暁黎（東京海洋大学大学院）　正会員　黒川　久幸（東京海洋大学）

要旨

現在、世界的に地球温暖化が問題になっており、外航海運から排出される 2007 年の温室効果ガスは IMO の推定によれば 8.5 億 t-CO_2 で、世界全体の CO_2 排出量の約 3%を占めている。このため海運における CO_2 排出量の削減が重要となっている。

そこで本研究では、急増する中国の鉄鉱石輸入を対象に船舶の大型化による CO2 排出量の削減効果を検討する。具体的には、2010 年における各積出港から各荷揚港の間における輸送量を推計し、就航する船舶からの CO2 排出量を把握する。そして、船舶を大型化した場合の CO2 排出量の削減効果を求める。

キーワード：物流海運、CO_2 排出量、鉄鉱石輸入、現状把握、削減効果

1. 序論

現在、世界的に地球温暖化が問題になっている。外航海運から排出される 2007 年の温室効果ガスは IMO の推定によれば 8.5 億 t-CO_2 となっており、世界全体の CO_2 排出量の約 3%を占めている。このため海運からの CO2 排出量の削減が重要となっている。しかし、海上荷動き量は年々増加しており、増加に伴う CO2 排出量の増加が懸念されている。特に、中国の鉄鉱石の輸入量は急増しており、2009 年は 9.62 億トンで世界全体の約 65%を占めている。

このため、中国の鉄鉱石輸入における CO_2 排出量の現状把握と削減効果の検証が必要となっているが、具体的な CO2 排出量の推計等は行われていない。

そこで本研究では、急増する中国の鉄鉱石輸入を対象に船舶の大型化による CO2 排出量の削減効果を検討する。

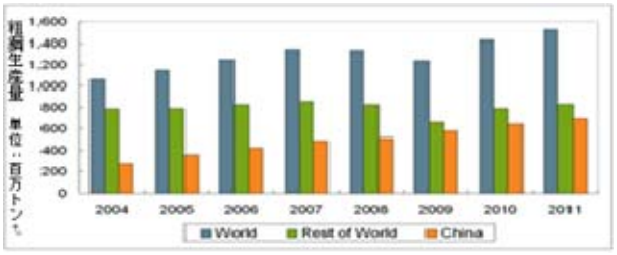
2. 中国の鉄鉱石輸入の現状

2.1　中国の粗鋼生産量

中国は世界一の粗鋼生産国である。図 1 に粗鋼の生産量の推移を示す。中国における 2010 年の粗鋼生産量は約 6 億 27 万トンと世界の 44.7%を占めている。この背景には旺盛な国内需要があり、自動車や家電製品の急激な消費がある。また、人口増加による住宅建設の増加も影響している。

2.2　中国の鉄鉱石輸入量

鉄鉱石は粗鋼を生産する原料として使用され、中国国内にも埋蔵されている。しかし、中国に埋蔵されている鉄鉱石は鉄分含有量が 30%程度と低く、大型高炉で必要とされる品質（60%程度）の基準を満たさない。このため高品質の鉄鉱石を求めて、オーストラリアやブラジルといった他の鉄鉱石生産国から鉄鉱石を輸入している。図 2 に 2010 年にはオーストラリアとブラジルから中国への鉄鉱石輸入量の比率を示す。



出典：World steel：World crude steel output increases by 6.8% in 2011, http://www.worldsteel.org/media-centre/press-releases/2012/2011-world-crude-steel-production.html, 2013.3.15

図 1　世界の粗鋼生産量の推移

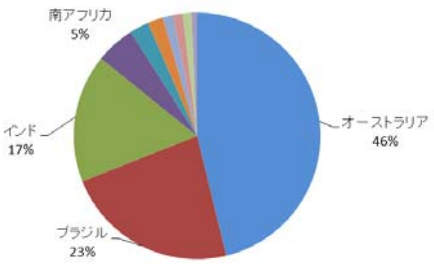


図 2　2010 年主な輸出国からの輸入量の比率

したがって、粗鋼の生産量の増加とともに、鉄鉱石の輸入量が年々増加している。中国の鉄鉱石輸入量は、2001 年に世界全体の約 18%を占めていたが、2009 年には約 65%も占めるに至っている。

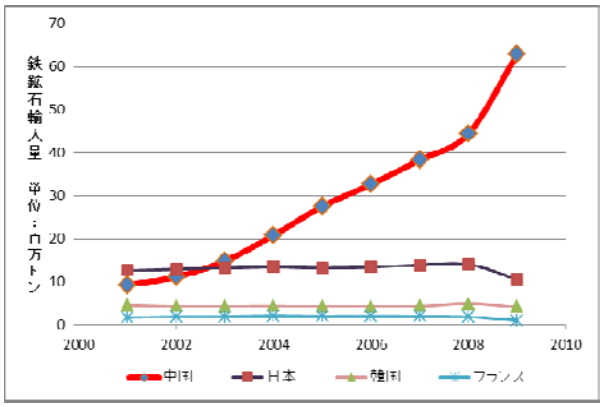


図 3　2001―2009 年鉄鉱石輸入量（国別）

2.3　輸入した中国国内の鉄鉱石輸送経路

中国の鉄鉱石需要量に関する企業の分布から見ると、輸入した鉄鉱石の主な供給先は長江北部の広い範囲及び長江沿線エリアである。しかし、長江の水深の制約によって、大型船が製鉄所のバースに着岸できないため、長江の入口にある大水深の港で鉄鉱石を卸す。卸された鉄鉱石を小型船で製鉄所まで運ぶ。そのため、大水深港の荷役や保管の能力に対して、オーバフローになり、港で処理待ちの問題が非常に厳しくなっている。以上のことより、本研究では長江沿線エリアを対象として検討を行う。

港と鉄道の輸送経路から見ると、輸入した鉄鉱石の国内輸送は北部エリア、長江沿線エリア及び南部エリアの三つに分けている。長江沿線エリアの輸送経路は下記のようである。

15－25 万トンの鉄鉱石船は寧波港、馬迹山港で鉄鉱石を全部荷揚げする。そして、荷揚げされた鉄鉱石は 2－3.5 万トンの鉄鉱石船で上海港、南通港まで輸送され、ここから 2000－3000 トンの小型船で工場まで運ばれる。

10-20 万トンの鉄鉱石船は宁波港、馬迹山港で一部（25%－50%）荷揚げした後、宝鋼の原料バースと罗泾埠頭で全部荷揚げする。そして、寧波港、马迹山港で荷揚げされた鉄鉱石は 2000-3000 トンの小型船で工場まで運ばれる。

宝鋼の製鉄所で粗鋼を生産するために使用される鉄鉱石は 100%輸入に頼っている。そして、2010 年に宝鋼の粗鋼生産量は 4450 万トン、中国の全体生産量を約 7%占め、上位 2 位の生産量となっている。

また、馬迹山港は宝鋼に鉄鉱石を供給する輸入港として水深が 25m あり、25 万トン（及び 30 万トン）の大型の鉄鉱石船が着岸できるバースを 1 つ持っており、大型船が入港できる天然の大水深港湾である。なお、鉄鉱石の積出港は、中国への輸入量が一番多いオーストラリアのポート・ヘッドランドを対象とする。

4. CO_2 排出量の定式化及び用いるデータ

4.1　CO_2 排出量の定式化

一つの航路における CO_2 排出量の算出式を下記の式（1）に示す。式（1）より CO_2 排出量は年間航海日数に 1 日当たりの CO_2 排出量原単位を乗じて算出する。

$$CO_2 = c4 \cdot DST / v \quad (1)$$

CO_2 ：CO_2 排出量[kg－CO_2 /年]

c4：CO_2 排出原単位[kg－CO_2 /年]

ＤＳＴ：航海距離[海里]

ｖ：航海速力[海里/年]

4.2　検証で用いるデータ

4.2.1　CO_2 排出量算出で用いる係数のデータ

CO_2 排出原単位の算出方法は次の通りである。参考文献 [2] より、外航船の載貨重量トン（ＤＷＴ）によって対象船舶が 1 日当たりに排出する燃料消費量（ＭＴ）がわかる。この値に参考文献 [3] より得られるＣ重油の CO_2 排出原単位 2987.8[kg－CO_2 /kl]を乗じ、1 日当たりの CO_2 排出量を算出した。

4.2.2　航海距離

BLM-Shipping 及び参考文献 [1] より対象港湾間の航海距離を求めた結果を表 1 に示す。

表 1　対象とした積出港と荷揚港の間の距離

港	ポート・ヘッドランド（マイル）	宝鋼原料バース(マイル)
馬迹山港	3127.6	95

4.2.3　平均船型

LMIU の船舶動静データ（2010 年）より求めた馬迹山港に寄港する鉄鉱石船と一般バルク船の載貨重量トン（DWT）の平均値を表 2 に示す。国内輸送については、参考文献 [1] により、宝鋼の原料バースに寄港する輸送船は 2 万トンから 5 万トンまでということであったので平均船型を 3.5 万トンとした。

表 2　馬迹山港に寄港する船舶の平均船型

港	ポート・ヘッドランド（DWT）	
馬迹山港	鉄鉱石専用船	一般バルク船
	228954	196823

表 3　馬迹山港の鉄鉱石輸入量（2010 年）

港	ポート・ヘッドランド（トン）	
馬迹山港	鉄鉱石専用船	一般バルク船
	986298	3595509
合計	4581807	

4.2.4　平均速力及び入出港時間等

参考文献 [2] より、鉄鉱石船の速力は、平均 14.3 ノットで船型に関わらず一定であることが分かった。そこで､本研究でも船型に関係なく 14.3 ノットとした。

また、鉄鉱石船の平均積載率及び入出港時間を参考文献 [4] より次のように定めた。20 万 DWT 程度の鉄鉱石専用船の平均積載率は 90%-95%程度であったので、平均積載率を 92.5%とした。そして、一回当たりの入出港時間は約 2.5－3 時間であったため、平均 2.75 時間とした。また、荷役時間については 1 回当たりの荷揚時間に約 3.5 日とし、荷積時間については荷揚時間と同じとした。そして、荷役時間は船型に比例するものとして算出した。

4.2.5　鉄鉱石輸入量の推計（2010 年）

積出港と荷揚港の間における鉄鉱石輸入量のデータは存在しない。そこで、本研究では中国海関と LMIU の船舶動静データから鉄鉱石輸入量を推計した。

中国海関のデータから、各積出国からの鉄鉱石輸入量は分かる。しかし、中国の国内港における各積出国及び各積出港からの輸入量は不明である。

そこで、本研究では LMIU の船舶動静データ（2010 年）より各国内港への各積出港からの船腹量を推計し、この船腹量の構成比率を用いて港湾調査から得られた国別の輸入量を按分することとした。ここでいう船腹量とは、寄港船舶の載貨重量トン（DWT）とその輸送船の年間寄港回数を乗じた年間輸送能力を意味する。

以上の方法により、オーストラリアの各積出港から各荷揚港に寄港する船舶の年間船腹量を計算したところ､鉄鉱石専用船で輸送する場合には約 91 万トン、一般バルク船で輸送する場合には約 2.14 億トン､合計で 2.23 億トンとなった。そして、輸入量を船腹量で按分した。今回対象としたポート・ヘッドランド港から馬迹山港への 2010 年における輸入量の推計結果を表 3 に示す。また、宝鋼は馬迹山港の輸入量と同じ量が馬迹山港から運ばれる。

5. CO_2 排出量削減効果の検証結果

5.1　削減効果の検証内容

ポート・ヘッドランドから馬迹山港への外航輸送及び馬迹山港から宝鋼の原料バースへの国内輸送を対象に検討を行う。

馬迹山港と宝鋼の原料バースに寄港する鉄鉱石船に大型化を行う場合、CO_2 排出量の削減効果について検討する。外航において、30 万ＤＷＴと 40 万ＤＷＴに大型化する。内航において、10 万ＤＷＴと 20 万ＤＷＴに大型化をして検討を行う。なお、馬迹山港に寄港する鉄鉱石専用船と一般バルク船の平均船型が違うため二つに分けて CO_2 排出量を算出する。

CO_2 排出量の削減効果は、図 4 に示す現状の排出量と大型化した排出量の比較結果から検討する。

最後に、荷揚港の水深を考慮した CO_2 排出量の削減効果を検討する。

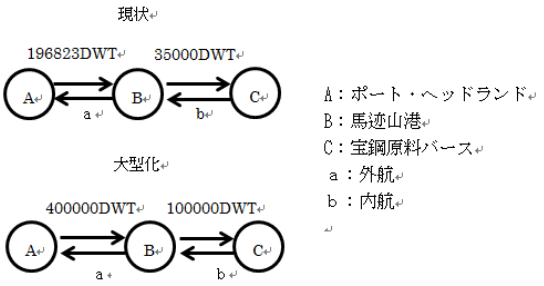


図 4　検討内容のイメージ

5.2　現状の CO_2 排出量

外航輸送における鉄鉱石専用船で年間の CO_2 排出量は 2 万 1081 トン、一般バルク船の排出量は 8 万 999 トン、合計 10 万 2080 トンである。また、内航における鉄鉱石専用船で年間の CO_2 排出量は 1486 トン、一般バルク船の排出量は 5415 トン、合計 6901 トンである。

5.3　船舶の大型化による CO_2 排出量の削減効果

大型化による CO_2 排出量の削減効果を図 5 と図 6 に示す。

図 5 と図 6 により、大型化した場合、CO_2 排出量の削減効果が得られる。外航輸送における CO_2 排出

量が一番少ないのは 40 万トン輸送船で年間 CO_2 排出量が 8 万 8874 トンである。現状と比べると、1 万 3206 トンの CO_2 排出量が削減できる。また、内航輸送における CO_2 排出量が一番少ないのは 20 万トンの輸送船で年間 CO_2 排出量が 3102 トンである。現状と比べると､3799 トンの CO_2 排出量が削減できる。

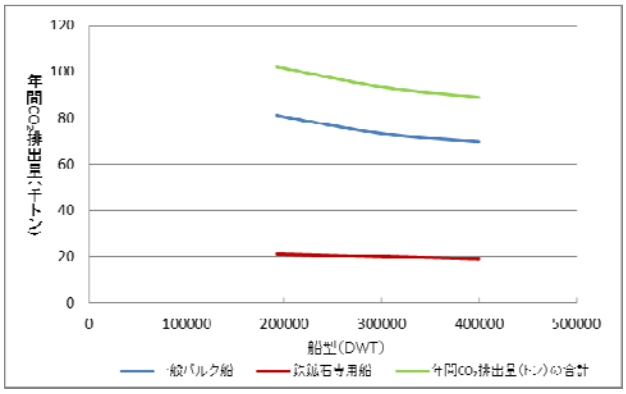


図 5　外航輸送の年間 CO_2 排出量

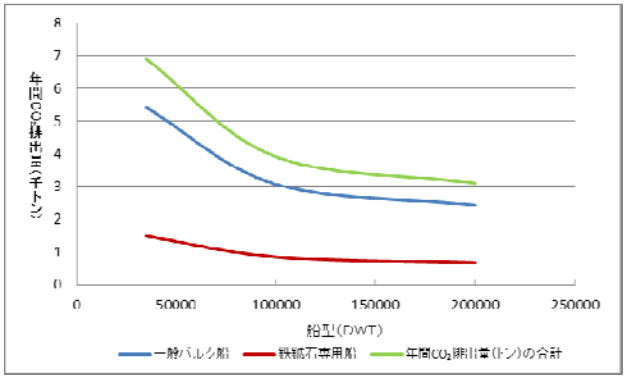


図 6　内航輸送の年間 CO_2 排出量

5.4　宝鋼の原料バースの水深を考慮した CO_2 排出量の削減効果

宝鋼の原料バースの水深の制約がある。参考文献[(5)]により、通常の可航水深は 12.5mである。水深制限によって積載量 7.5 万トン以上の鉄鉱石船が通航できないため、本研究で宝鋼の原料バースに最大入港できる積載量は 7.5 万トンとした。

以上のことより、内航輸送における削減効果が一番大きいのは 3799 トンの CO_2 排出量が削減できる結果となったが、図 7 に示すように、大型化した場合、水深の制限によって最大 7.5 万トンの鉄鉱石船で CO_2 排出量は 2456 万トンしか削減できない。さらに、大型の船舶を用いて、CO_2 排出量が削減できるようにするためには水深を深くする必要があるということが分かる。

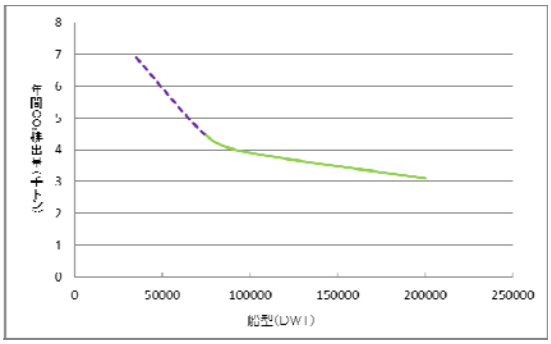


図 7　内航輸送の CO_2 排出量（合計）

6. 結論

本研究では、中国の鉄鉱石輸入における輸出国の各積出国から各荷揚港に船舶の寄港回数、船型及び輸入量を推計した。また、輸出港から工場までの現状の CO_2 排出量を算出し､大型化による CO_2 排出量の削減効果を検討した。

検証の結果、外航における削減効果が一番大きいのは 40 万ＤＷＴの輸送船で年間合計 1 万 3206 トンの CO_2 排出量が削減できる。また、内航輸送における削減効果が一番大きいのは 20 万ＤＷＴの輸送船で年間合計 3799 トンの CO_2 排出量が削減できる。

しかし、内航における水深の制限によって、CO_2 排出量は 2456 万トンしか削減できないということが分かった。CO_2 排出量を削減するために、鉄鉱石船を大型化する必要がある。それにともない、バースの水深を深くする必要があることが明らかになった。

参考文献

(1)　吴永： 馬迹山到宝鋼二程鉄鉱石輸送船舶の船型経済検証，上海海事大学修士卒業論文，2006.

(2)　赤倉康寛，瀬間基広：国総研資料 No.560，我が国へのドライバルク貨物輸送の効率化に向けた一考察，2009.12

(3)　国土交通省：環境負荷の小さい物流体系の構築を目指す実証実験，CO_2 排出削減量の計算要領，2004.9

(4)　鈴木理沙，黒川久幸，鶴田三郎：我が国のドライバルク港湾における政策効果の検証に関する研究，日本航海学会論文集 No127，pp.181-188，2012.9

(5)　長江口深水航道（12.5m）試通航期間　通航安全管理方法，2012.3

環境負荷を考慮した海上コンテナの集配ルーチング

正会員○西村　悦子（神戸大学）　非会員　三瀬　敏敬（神戸大学海事科学部）

要旨

温室効果ガス削減の一方策として、環境省主導のプロジェクトに「海上コンテナの国内トラック輸送効率化」があり、この内容の一部であるコンテナ状態とトラック積載状態に着目し、集配ルーチング問題について取り上げた。目的関数には CO_2 排出量の最小化とし、実入りコンテナ、空コンテナ、空車のそれぞれの移動距離に重みづけをして算出し、訪問順に制約のある先行順序制約のあるルーチング問題として扱った。焼きなまし法を利用した解法を提案したが、従来の運用形態と比較して 20 数%～30%程度の CO_2 削減効果があることが明らかとなった。

キーワード：物流、コンテナ輸送、ルーチング問題、地球温暖化対策

1. はじめに

地球温暖化が進む中、人為的に排出される温室効果ガスのうち、二酸化炭素 CO_2 が 9 割以上を占め、影響度が最も大きいと見積もられている。これは主として、工場、自動車交通および火力発電所等から排出されており、2009 年現在で日本は、中国やアメリカの 1／4 以下ではあるものの、世界の第 5 番目に排出量が多いことで知られている[(1)]。

自動車交通に関連して、貨物輸送に着目すると、海上コンテナの陸上輸送においては、輸出の場合、トラックは港湾ターミナルから荷主まで貨物を配送し、空車の状態でターミナルに戻る。また輸入の場合も同様に、トラックは荷主の所まで空車で移動し、バンニング後のコンテナをターミナルまで搬送している。図 1 に示すように、特定の着荷主（輸入元）に着目すると、実入りコンテナが到着後、空コンテナの状態にしてターミナルや他の荷主へ供給できるまである程度の時間を要する。また反対に、発荷主（輸出元）は空コンテナをターミナルや他の荷主から調達し、実入りの輸出用コンテナに仕立てている。同様にこれにも時間が必要となる。

こうした現状がある中、環境省主導で、「海上コンテナの国内トラック輸送効率化（E029）」プロジェクト[(2)]が検討されている。具体的には、輸出入貨物と、これらを国内輸送するための空コンテナとのマッチングを行い、空コンテナの国内トラック輸送量を削減するものである。このプロジェクトのうち、コンテナの輸送経路に着目すると、インランドデポ

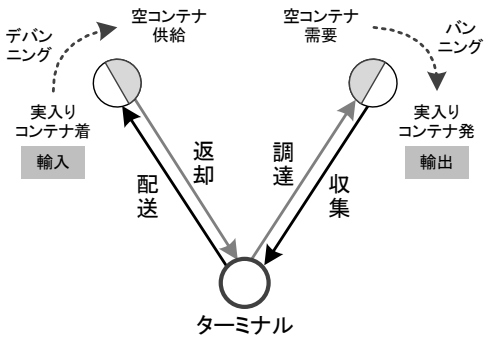


図 1　海上コンテナ国内輸送における従来の運用形態

を内陸部に設置し、ここで空コンテナのマッチングを行い、空コンテナの輸送量を削減することを目標としている。評価には文献(3)で示された温室効果ガスのうち CO_2 排出量の算定を行い、従来の方法に比べてどれだけ削減できるかを検討している。コンテナの状態には輸入と輸出の実入り、空コンテナの 3 タイプがある。

そこで本研究では、コンテナの状態（実入り、空コンテナ）と空車を考慮したトラックのルーチングを考える。先のプロジェクトを表現するには、インランドデポの立地場所を事前に検討しなければならないため、本研究ではインランドデポは想定しない。つまり、輸入顧客地点では、コンテナが到着後、デバンニングを行って空コンテナ供給状態となる。輸出顧客地点では、まず空コンテナの需要として、空コンテナをどこからか調達し、バンニング後ターミ

ナルに搬送する。各地点はコンテナ 2 つの状態を持つことから、時間軸を考慮すれば、現実に近い問題を扱える。しかしバンニングとデバンニングにかかる時間、コンテナが発送可能になるまでの時間は一定ではないため、本研究では無視する。ある時間帯（時刻）に、各地点がどの状態であったかを所与とし、この条件下でのトラックの配送問題を考える。

これに関連する既往の研究に、輸出入の実入りコンテナを対象に、往復輸送から三角輸送することで空車での移動距離延長を抑え、必要となるトラック台数を最小化して、これに係るコストを最小化したもの[4]がある。本研究では目的関数を CO_2 排出量の最小化とし、配送状態に、実入りコンテナ、空コンテナ、空車を対象としている点が文献(4)と異なる。

2. 問題の概要

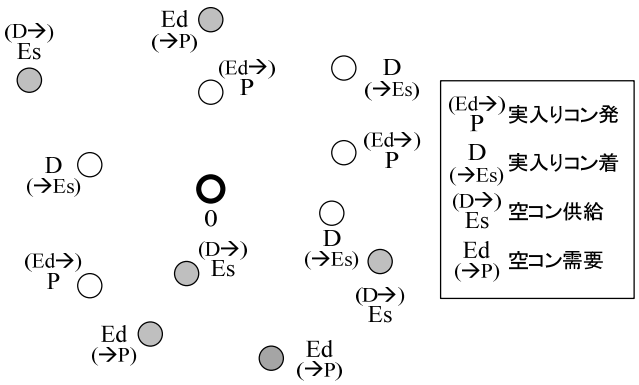
従来の一般的なトラックの運用形態として、実入り・空コンに関わらず、海上コンテナ輸送のトラックは、港湾ターミナルを出発して着荷主にコンテナ貨物を届けたのち、空車の状態でターミナルに戻る。また反対に、空車の状態で発荷主の顧客の所へ行き、コンテナを受け取ってターミナルに戻る。

そこで、コンテナの状態（実入り・空コンテナ）を区別するために、図 2 に事例を示す。ターミナル 0 を太線黒丸で表現し、実入りコンテナ発荷主を P、実入りコンテナ着荷主を D、空コンテナ供給荷主を Es、空コンテナ需要荷主を Ed して示す。

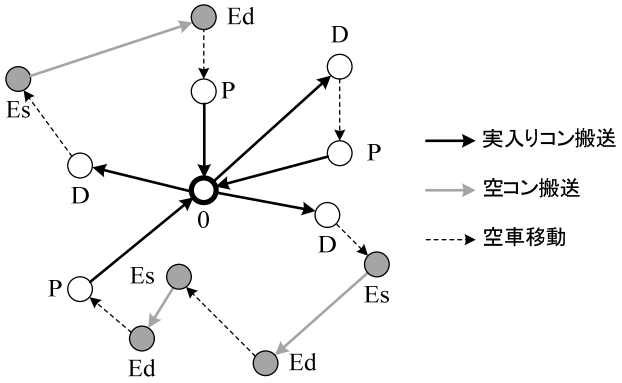
まず実入りコンテナに時間軸の要素は入れないが、地点 P の場合、バンニングによって実入りコンテナ発に仕立てるために、事前に空コンテナを調達する必要がある。そこで空コンテナ供給地点から事前に届くため、（Ed→）P として表現する。同様に地点 D なら、実入りコンテナ着の後、デバンニングを行って空コンテナとなり、供給できる状態になるため D（Es→）と表記する。

次に地点 Es は、空コンテナ供給状態になるために事前に実入りの状態で到着するため、（D→）Es と表記し、地点 Ed（→P）は空コンテナ到着後、デバンニングを行って、数時間後には D となる。

図 2(a)の顧客地点のコンテナ状態を事例に、本来、時々刻々と状況が変化するが、ある時期で区切って、各地点がそれぞれ実入りコンテナの着荷主・発荷主である、もしくは空コンテナの供給地点・需要地点であると解釈すると、図 2(b)のように配送ネットワークを構成することが出来る。



(a) 顧客地点でのコンテナの状態



(b) 実入りコンテナ・空コンテナ・空車での移動

図 2　本問題のコンテナ状態と移動事例

つまりターミナル 0 から D へ、P からターミナル 0 へ実入りコンテナ搬送が行われ、Es と Ed 間のいずれかの組み合わせで Es から Ed に空コンテナが配送される。またさらに、これら以外でトラック空車移動が行われる。したがって、実入りコンテナ搬送、空コンテナ搬送と空車移動に関わる移動距離をそれぞれ求めることが可能となる。

これらに各状態での CO_2 排出量は異なるため、それぞれに重みとして単位距離当たりの排出量を掛けることで、対象となるルーチングにおける CO_2 排出量を求めることができ、従来の運用方法と比較することでその効果を調べる。

4. 解法

4.1　全体の処理手順

本研究では、問題の定式化と今後、制約を増やした時にも対応できるように、メタヒューリスティクスの中の焼きなまし法を用いる。

焼きなまし法（Simulated Annealing、SA）の代表的な特徴の 1 つは、評価値が改善される解を採択す

ることに加えて、ある制限のもとで評価値が悪化する解も採択することである。この発見的手法が「山登り」という能力を持つことを意味する。

初期段階では、良くない解（最小化問題の場合、より大きな評価値を有する解）を採択する確率が大きい。しかし、繰り返し行われる探索処理が進むに従い、より悪化度の小さい解だけが採択されるようになり、最終的に良い解だけ採択される。また SA は初期の構成にはよらず、高品質な解を求めることができる。さらに、プログラム化も比較的容易であることも当該研究で選択した理由の 1 つである。

SA の解法アルゴリズム[5]を図 3 に示す。アルゴリズムのコアとなる部分は、図中のグレー部分であるメトロポリス(Metropolis)と呼ばれる手続きにある。これは、ある温度 T において、物理現象の焼きなまし（アニーリング）過程をシミュレートしている。

4.2 解の表現方法

配送の順路を考える上で、実入りコンテナの移動に関して D の直前はターミナル 0、P の直後も同様にターミナル 0 と言える。また空コンテナについては Es で受け取って、Ed に搬送する。それ以外は空車での移動となり、実入りもしくは空のコンテナ搬送には 0➔D､P➔0､Ed⇒Es の 3 ペアが考えられる。

したがって、まず複数ある Ed と Es の中でペアを決定し、これを含む 3 種類のペアを 1 つのノードとして捉え、これらをランダムに並べることで順路を決定する。

5. 数値実験

5.1 使用データの概要

まず、顧客に関するデータについて述べる。顧客数は、実入りコンテナ配送顧客 D、実入りコンテナ収集顧客 P、空コンテナ収集顧客 Es、空コンテナ配送顧客 Ed の 4 種の顧客の地点座標をランダムに生成させる。地点数はそれぞれ同数とし、10 ずつ計 40 地点、20 ずつの計 80 地点、30 ずつの計 120 地点の 3 種類の問題を考える。

また各顧客の地点座標の与え方は、文献(4)と同様に、ターミナルからの離れ具合で決定する。つまり顧客地点 i の(x, y)座標を以下の式(1)で定義する。

$$P_i=(R1_i\times 100-50)\times(\gamma+R2_i\times 0.4) \qquad (1)$$

ここで、γ とは顧客の分布幅を意味し、0.2、0.4 と 0.6 の 3 通りの広がり具合、$R1_i$ と $R2_i$ は 0～1 の実数乱数を示す。$R1_i$ で基礎となる範囲を定め､$R2_i$ で個々の問題に対する違いを設けている。

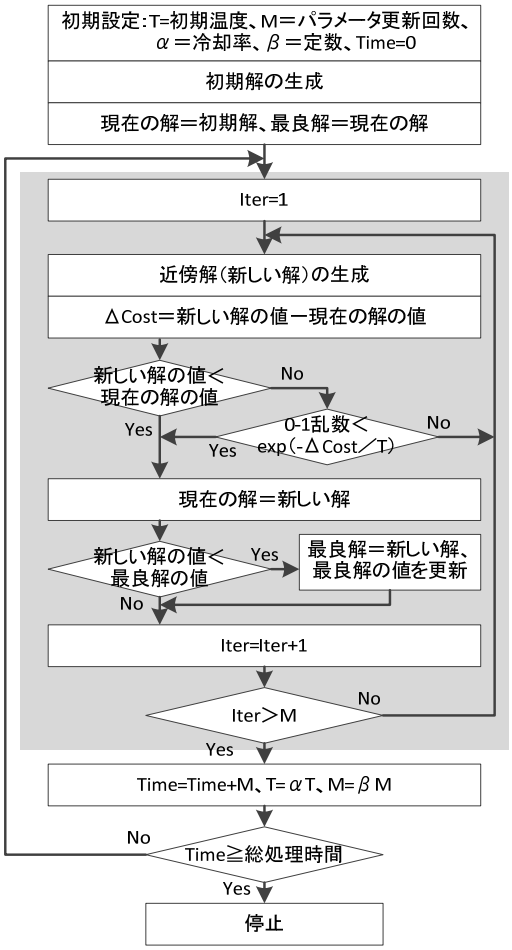


図 3 SA の処理手順

対象コンテナを搬送するトラックは、同一種類を用意し、いずれのトラックを利用するかによって CO_2 排出量や所要時間が異なることは想定しない。また各地点間を移動する際のトラックの最大稼働時間に限界を設け、時間以内にターミナルに戻ることとする。ここで最大稼働時間を 8 時間と 10 時間の 2 ケースを想定する。

実入りコンテナを積載した状態での走行距離、空コンテナを積載した状態での走行距離、空車の状態での走行距離が算出方法を明らかにした。これらに 1km 走行あたりの温室効果ガス排出量を掛ければ、配送経路における総排出量がわかる。

CO_2 排出量計測への変換方法は文献(3)に、以下のように示されている。

$$BE_x=W\times(1/10^3)\times EF_x\times(1/10^3)\times CV\times CEF\times CO_2/C \qquad (2)$$

ここで、

x　　トラックの状態（fc：実入りコンテナ積載、

ec：空コンテナ積載、*e*：空車）

BE_x　トラック状態 x における走行距離 1km あたりの CO_2 排出量 (t-CO_2/km)

W　積載量 (kg)

EF_x　トラック状態 x における燃費 (km/kℓ)

CV　トラックで使用される化石燃料の単位発熱量 (GJ/kℓ)

CEF　トラックで使用される化石燃料の C 排出係数 (t-C/GJ)

CO_2/C　トラックで使用される化石燃料の CO_2 排出係数 (t-CO_2/t-C)

よって、トラックの順路に対する総 CO_2 排出量は、以下のようになる。

総 CO_2 排出量= 実入りコンテナ走行距離×BE_{fc}
+ 空コンテナ走行距離×BE_{ec}
+ 空車距離×BE_e　(3)

5.2　計算結果

図 4 に CO_2 排出量、図 5 に CO_2 削減率を示す。なお、従来の運用形態とはターミナルから各顧客地点までの往復輸送を示し、提案する方法は、トラック最大稼働時間 8 時間と 10 時間の結果を示す。CO_2 削減率は従来の運用形態での CO_2 排出量を基準に提案する方法でのそれとの差を示したものである。

全体的な傾向として、地点数が増え、分布幅が大きくなると、移動距離が長くなることから CO_2 排出量が多くなっているのがわかる。また従来の方法と比較すると、いずれのケースでも、提案する方法の CO2 排出量の方が少ない。トラックの最大稼働時間で比較すると、大差がないのがわかる。そこで CO_2 削減率を見る。トラックの最大稼働時間が長い方の削減効果が大きいのがわかる。また地点数が少ないときに削減効果が大きく、分布幅が大きい時にその効果が大きい。

6. おわりに

本研究では、海上コンテナの集配活動に関してコンテナの状態と積載状態を考慮したトラックのルーチング問題を扱った。全体の傾向から、対象となる顧客の地点数や分布状況によって、CO_2 削減効果は異なるが、20 数%～30%の削減効果があることがわかった。またトラックの稼働時間によっても若干ではあるが影響されることが明らかとなった。

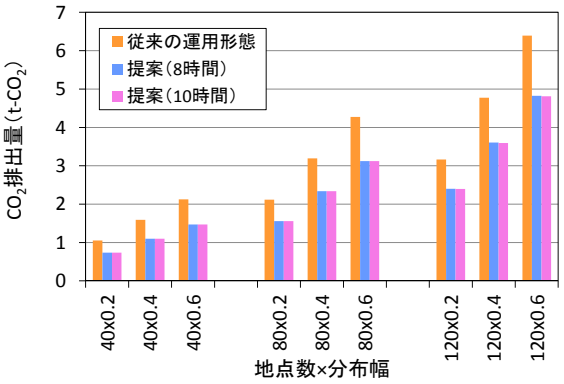


図 4　CO_2 排出量

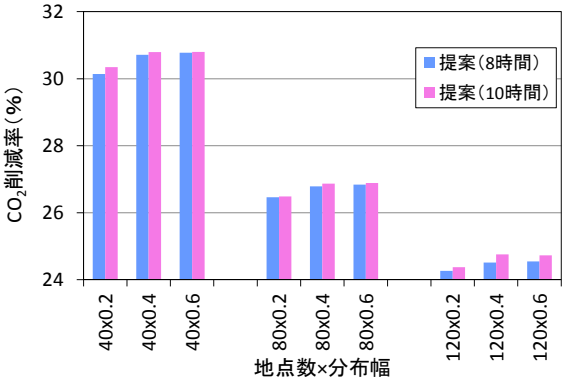


図 5　CO_2 削減率

参考文献

(1) 全国地球温暖化防止活動推進センターWeb サイト：地球温暖化とは，地球温暖化の基礎知識, http:// www.jccca.org/global_warming/knowledge/kno03.html, 2013.3.6.

(2) 環境省 Web サイト：海上コンテナ輸送に関わる国内トラック輸送効率化（E029），http://www.env.go.jp/press/file_view.php?serial=19005&hou_id=14682, 2012.4.20.

(3) 経済産業省資源エネルギー庁 Web サイト：物流分野の CO_2 排出量に関する算定方法ガイドライン, http://www.enecho.meti.go.jp/policy/images/060518pamph.pdf

(4) Imai, A., Nishimura, E., Current, J.：A Lagrangian relaxation-based heuristic for the vehicle routing with full container load, European Journal of Operational Research, Vol.176(1), 87-105, 2007.

(5) Sadiq M.Sait, Habib Youssef 著，白石洋一訳，組合せ最適化アルゴリズムの最新手法－基礎から工学応用までー, 46-48, 丸善株式会社, 2002.

コンテナ輸送によるインバランスの解消及びバルク貨物の片荷輸送の抑制による CO_2 排出量の削減効果の検証に関する研究

学生会員○鈴木　理沙（東京海洋大学大学院）　正会員　黒川　久幸（東京海洋大学）

要旨

現在世界的に地球温暖化が問題になっており、外航海運からの温室効果ガスの削減策については国際海事機関(IMO)が技術面(ハード)と運航面(ソフト)から検討を行っている。一方、定期船では基幹航路におけるインバランスの問題が生じており、また不定期船では片荷輸送であるため空荷輸送が常に発生するなど、非効率的な輸送を行っている。ここで陸上輸送における取組として共同配送による往復輸送が行われている。そこで本研究では外航海運において未だ検討されていない削減策として、バルク貨物のコンテナ化を行った際のコンテナ輸送によるインバランスの解消とバルク貨物の片荷輸送の抑制による CO_2 排出量の削減効果について検証することを目的とする。

キーワード：物流・海運、CO_2 排出量削減、定期船、不定期船

1. 序論

現在、世界的に地球温暖化が問題になっている。外航海運から排出される温室効果ガス(GHG)は国際海事機関(IMO)の推計によると 8.5 億トンと世界全体の約 3%を占め、これはドイツ 1 国分の排出量に相当する。したがって外航海運からの CO_2 排出量の削減は重要である。

外航海運の削減策は国際海事機関(IMO)が技術面(ハード)と運航面(ソフト)から削減策の検討を行っている。技術面については、2013 年 1 月に新造船を対象に国際海運初の CO_2 排出規制が開始された。運航面については現在議論を進めている段階であり、マイクロバブルやウェザールーティング等が検討されている。

一方で、外航海運を担う船舶には運航形態の違いから定期船と不定期船に分類されるが、両者は次のような非効率的な輸送を行っている。まず、定期船については図 1[(1)]より北米・欧州の基幹航路においてインバランスが生じているため、非効率的な輸送を行っている。不定期船については、一般に単一荷主による単一貨物を輸送する形態をとるため復路は空荷状態での片荷輸送を行うなど、非効率な輸送となっている。

ここで、同じ輸送手段である陸上の自動車輸送における CO_2 排出削減への取組は次の通りである。ハード面ではエコカーの普及、ソフト面ではエコドライブをはじめ拠点集約化や、複数荷主の共同配送による往復輸送が行われている。

外航海運における CO_2 排出量策削減策に関する既存研究として、減速航海[(2)(3)]や大型船の投入[(3)(4)]等については検討されているが共同配送による往復輸送は検討されていない。

そこで本研究では、北米航路を例としてバルク貨物のコンテナ化による定期船輸送を行った際における、コンテナ輸送によるインバランスの解消及びバルク貨物の片荷輸送の抑制を行った場合の CO_2 排出量削減効果の検証を目的とする。

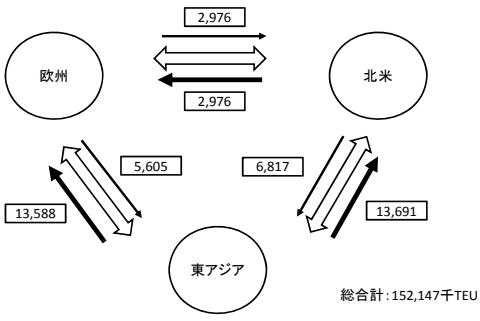


図 1　2010 年世界コンテナ荷動き概観(主要航路)[(1)]

2. 外航海運の非効率な輸送状況

2.1　定期船の輸送状況

図 1 より、2010 年の東アジア-北米間における東航荷動き量は 13,691 千 TEU である一方、西航荷動き

量は東航の約半分の 6,817 千 TEU である。これより基幹航路の一つである北米航路では東航と西航の間でインバランスが発生しており、また同様な問題は欧州航路でも発生していることが分かる。以上より、定期船は非効率な輸送を行っていると言える。

2.2　不定期船の輸送状況

不定期船は単一荷主による単一貨物の輸送が中心であるため復路は空荷状態の輸送となり、片荷輸送という非効率な輸送が常に発生している。

不定期船(ドライバルク貨物)輸送による CO_2 排出量について、例えば鈴木ら[4]の研究によると国際バルク戦略港湾の一つである木更津港の年間鉄鉱石輸入における CO_2 排出量は 474,529 トンと算出している。仮に、外航海運においても陸上輸送と同様に共同配送による往復輸送が可能になれば、CO_2 排出量は大体半減させる事が可能である。

3. 北米航路における定期船、不定期船(ドライバルク船)の荷動き量推計

3.1　定期船による荷動き量の推計

2.1 より本研究では、定期船の北米航路のうち、荷動き量が少なく消席率が低い西航の輸送中に、従来不定期船で輸送していたドライバルク貨物をコンテナ化して西航を消席率 100%とした場合による定期船輸送を行った際の削減効果の検証を行う。

そこでまずは LMIU の船舶動静データ[5]を用いて、2010 年の定期船の北米定期航路の荷動き量と、不定期船輸送によるドライバルク貨物(三大バルク+マイナーバルク)の北米→東アジアの荷動き量を推計する。

3.1 では 2010 年の定期船の北米航路の荷動き量を推計する。続いて 3.2 で、ドライバルク貨物を輸送する不定期船(BBU,BOR)を対象に推計する。

北米航路における定期航路の荷動き量を推計方法は次の通りである。ここで船舶動静データ[5]とは、各船舶の世界中の日々の入出港時間含めた寄港データである。よって、このデータは定期航路に就航する船だけでなくスポット傭船や船社による配船替えのデータも含まれる。従って、動静データから北米定期航路を就航する船舶を次のように特定した。オーシャンコマースの国際輸送ハンドブック(2011 年版)より、北米定期航路のうち最も航海日数が多いサービスの日数は 1 周当たり 105 日であった。

これより、本研究では荷動き量の多い東航について、特定の船舶が北米→東アジアの特定の港間を年間 3 回以上寄港している船舶を北米定期航路に就航している船舶として荷動き量の推計をした。ここで、北米東航と西航の消席率については、赤倉ら[2]より 2005 年の北米航路の消席率を東航 84.3%、西航 41.8%として集計した。

以上より、動静データを用いた北米航路の定期航路の荷動き量推計結果と、参考文献(4)による 2010 年の北米-東アジア間全体の荷動き量を表 1 に示す。

表 1　北米航路の荷動き量推計結果(2010 年)

	北米航路	年間荷動き量(千TEU)
東航	実荷動き量(東航)	13,691
	動静データ推計(東航)	9,264
西航	実荷動き量(西航)	6,817
	動静データ推計(西航)	5,755

表 1 より以下の事が分かった。東航については全ての実荷動き量のうち、動静データによる定期航路の荷動き量は 68%の量となった。一方で、西航の場合は、実荷動き量の 84%が定期航路の荷動き量となった。これよりインバランスの問題から、西航においては非効率な輸送を解消するためにスポット船を使用して解消していることが分かった。これより、実際の北米航路における定期航路の西航の消席率はより高くなると予測できる。しかし、それでも北米定期航路にはインバランスが生じている事が分かる。したがって、本研究のバルク貨物のコンテナ化による削減策の検討により、北米航路のインバランスの解消につながると考えられる。

3.2　不定期船による荷動き量の推計

ドライバルク貨物を輸送する不定期船における北米→東アジアの荷動き量に推計は次のように行った。まず、ドライバルク貨物の実荷動き量(2010 年)は参考文献(6)より次のように推計した。まず、今回対象とするドライバルク貨物は三大バルクとマイナーバルクとした。参考文献(5)より、2010 年の北米→東アジアの荷動き量を下記の表に示す。

表 2　2010 年の主三大バルク貨物の北米→東アジアの実荷動き量(百万トン)

品目	北米→東アジア	全世界	全世界に占める割合
鉄鉱石	5	986	1%
原料炭	28	233	12%
一般炭	10	698	1%
穀物	106	2220	5%
合計	149	4137	4%

マイナーバルクについては、エリア間の荷動き量の実データが得られなかったそこで、2010 年の全世界の実荷動き量 1,002 百万トンに、表 4 の北米→東アジアの三大バルクの荷動き量合計の全世界の量に占める割合 4%を乗じることによって推計し、36 百万トンとした。以上より、2010 年の北米→東アジアのドライバルク貨物の荷動き量推計を 185 百万トンとした。

続いて動静データを用いて、ドライバルク貨物の北米→東アジアへの荷動き量を推計する。本研究では、BBU(一般バルカー)と BOR(鉄鉱石専用船)の動静データから推計した。これより 2010 年の北米→東アジアの BBU(一般バルカー)と BOR(鉱石専用船)の荷動き量推計を表 3 に示す。

表 3　動静データによる北米→東アジアの荷動き量推計(2010 年)

船種	荷動き量(百万トン)
BBU	152.3
BOR	0.4
合計	152.7

ここで、今回データ分析の対象としたドライバルク貨物を輸送する不定期船は BBU(一般バルカー)と BOR(鉱石専用船)であり、木材チップ船等の他のドライバルク船は含まれていない。そこで、参考文献(7)より得られる 2010 年の世界全体のばら積み乾貨物船の運航隻数合計 8,938 隻を動静データ(BBU,BOR)の運航隻数合計 7,528 隻で除した値を表 3 の 152.7 百万トンに乗じた 181 百万トンを、動静データによる全ドライバルク貨物の北米→東アジアへの荷動き量推計値(2010 年)とした。この推計結果と実荷動き量推計結果を表 4 に示す。

表 4　全ドライバルク貨物の北米→東アジアにおける荷動き量(2010 年)

	荷動き量(百万トン)
実荷動き量推計	185
動静データによる荷動き量推計	181

4. バルク貨物のコンテナ化による検証方法

本研究のバルク貨物のコンテナ化にあたり、対象とする北米定期航路やドライバルク貨物、輸送船舶などについて次のように定めた。

3.1 より、北米西航における北米→東アジアの特定の港間のうち、荷動き量が最も多い港の組み合わせは Vancouver(CAN)→Busan であり、その量は 226,658TEU であった。そこで、今回は国際輸送ハンドブックより北米定期航路のうち、上記の港間の寄港をスケジュールに含むサービスで、APL/Hyundai/MOL が運航する PNW(Pacific Northwest Service)を例に検討した。PNW は 6,479TEU の船が 5 隻運航するウィークリーサービスであり、寄港地は次の通りである。

Kaohsiung-HongKong-Yantian-Shanghai-Busan-Tacoma-Seattle-Vancouver-Buan-Kwangyang-Kaoshuing

PNW の 1 周当たりの航海日数は 35 日で、航海距離は距離表(海上保安庁)より 13,313mile とした。

また、BBU(一般バルカー)の動静データより、上記の港間での年間荷動き量が 1,124 千トンあった。ここで、対象とするドライバルク貨物は参考文献(5)より、三大バルク貨物のうち各貨物においてカナダの輸出量の世界全体の輸出量に占める割合が 14%と最も多い小麦を対象とした。

小麦輸送の不定期船については、動静データより今回対象とする港間の平均船型を単純平均して 59,712DWT とした。積載率については参考文献(4)より鉄鉱石専用船の 93%を同じドライバルク貨物輸送の不定期船として用いた。

その他小麦のコンテナ化にあたり、TEU 当たりの最大積載荷重は、ISO 規格より 20 フィートのドライコンテナの 1 22,040kg を用いた。また、小麦の比重を製粉協会 HP より、1.35g とした。

5. 定期船・不定期船の CO_2 排出量の定式化

海上輸送中の CO_2 排出量は燃料消費量に CO_2 排出量原単位を乗じることにより算出される（式(1)）。燃料消費量は船型や船速、消席率の影響を考慮できる鈴木[8]のモデル式（式(3)）を用いて各航路における就航船舶の総航海距離を乗じることにより算出する（式(2)）。

$$TN = C_{fl} \times \sum_{r \in R} FC_r \quad \text{---------- (1)}$$

$$FC_r = FO_r \times 10^{-3} \times 1.852 \times DIS_r \times f_r \quad \text{---------- (2)}$$

$$FO_r = 6.87 \times 10^{-5} \times (DSP_r - (1 - 0.65 \times LF_r) \times DWT_r) \times DSP^{-1/3} \times V^2 \quad \text{---------- (3)}$$

$$DSP_r = 1.37 \times DWT_r + 1660 \quad \text{---------- (4)}$$

$$DWT_r = 10.8 \times CAP_r + 12400 \quad \text{---------- (5)}$$

TN：輸送中の CO_2 排出量、C_{fl}：CO_2 排出量原単位[t-CO_2/t]、FC_r：航路別の燃料消費量[t/年]、R：航路の集合

FO_r：燃料消費量[kg/km]、DIS_r：航路距離[nm]、

f_r：寄港頻度[回/年]、DSP_r：満載排水量[t]、DWT_r：載貨重量[t]、LF_r：消席率、V：船速[km/h]、CAP_r：船型[TEU]

本研究で対象とする不定期船(一般バルカー)は参考文献(9)より、25g- CO_2/ton*km 当たりの排出原単位を用いた。今回はバルク貨物をコンテナ化するため、TEU*mile に直して換算した。

6. CO_2排出量の検証結果

4.と 5.より削減策を実行した場合の検証結果を下記の表 5～7 に示す。

表 5 より、UCC(フルコンテナ船)のみで見ると、PNW サービスの現状の CO_2排出量は 869,242 トンとなった。また、バルク貨物をコンテナ化した場合はインバランスの解消効果として西航の消席率が上がるため、その分排出量が増加したが、1TEU 当たりの CO_2 排出量は 0.1t-CO_2減少効果が見られた。

BBU(一般バルカー)と BOR(鉄鉱石専用船)は、現状の年間排出量が 294,315 トンであった。コンテナ化を行った場合は、今回小麦 122,040kg を全てコンテナ化して定期船により輸送することにより不定期船輸送による片荷輸送が抑制されたため 、排出量は 0 となった。

最後に本研究で対象とした定期船(UCC)・不定期船(BBU,BOR)全体の削減効果を示す。現状の排出量が 1,153,557 トンなのに対して、バルク貨物のコンテナ化を行った結果排出量は 913,790 トンと、現状より約 21%の削減効果が見込めた。

表 5　定期船(UCC)による削減策の検証結

	往路と復路 総co2排出量 (t-c02/年)	輸送量(TEU)	単位輸送量当たりのCO2排出量 (t-CO2/TEU)
現状(UCC)	859,242	426,008	2.0
削減策(UCC)	913,790	477,019	1.9

表 6　不定期船(BBU)による削減策の検証結果

	総co2排出量 (t-c02/年)	輸送量(TEU)	単位輸送量当たりのCO2排出量 (t-CO2/TEU・mile)
現状(BBU)	294,315	51,011	0.001
削減策(BBU)	0	0	

表 7　削減策の検証結果まとめ

	総co2排出量(t-c02/年)
現状(UCC+BBU+BOR)	1,153,557
削減策(UCC+BBU+BOR)	913,790
削減効果	239,767

7. 結論

本研究ではバルク貨物のコンテナ化を行った際の、コンテナ輸送におけるインバランスの解消とバルク貨物の片荷輸送の抑制による CO_2 排出量の削減効果の検証を行った。

その結果、総排出量で見ると現状より 21%以上の削減効果があることが明らかになった。また単位輸送量当たりで見ると、定期船について消席率を向上させることによって、1TEU 当たりの CO_2排出量が減少する事が分かった。

参考文献

(1) 日本郵船調査グループ編：世界のコンテナ船隊および就航状況 2011 年版，社団法人　日本海運集会所，pp.9，2011.11

(2) 赤倉康寛・鈴木武・松尾智征：我が国貨物の国際・国内海上輸送による CO_2排出量の推計,国土技術政策総合研究所資，No.497，2009.1

(3) 黒川久幸・鶴田三郎・高野智貴・鈴木理沙：国際海上コンテナ輸送における CO_2 排出量削減策の実行可能性に関する研究 ，日本航海学会論文集，No.124 ，pp.1-9，2011.3.

(4) 鈴木理沙・黒川久幸・鶴田三郎: 我が国のドライバルク港湾における政策効果の検証に関する研究 ，日本航海学会論文集，No.127 ，pp181-188，2012.9

(5) LMIU(Lloyd’s Marine Intelligence Unit)：船舶動静データ(2010 年)

(6) 日本郵船調査グループ編：2011 Outlook for the Dry-Bulk and Crude-Oil Shipping Markets 海上荷動きと船腹需給の見通し，社団法人　日本海運集会所，pp.25-80，2011.10

(7) 日本船主協会：海運統計要覧 2012,http://www.jsanet.or.jp/data/pdf/2012data10-3.pdf

(8) 鈴木武：コンテナ船および RORO 貨物船の燃料消費量と長距離内航 RORO 貨物船輸送における燃料価格上昇の影響 ,国土技術政策総合研究所資料 No.494,2009.1

(9) International Maritime Organization(IMO)：Second IMO GHG Study 2009

運航トラブルに関わるデータベースの構築と要因分析に関する研究

正会員　篠田 岳思（九州大学大学院） 学生会員　○三笠 亮（九州大学大学院工学府）

要旨

就航中の船舶に生じる様々なトラブルは運航側の金銭や物的な損失ばかりか、荷主である顧客の信頼を失う事にもなりかねない事象である。船舶資材の高騰や円高傾向の中で、日本の海運業界が国際競争力を維持するためにも、運航トラブルを未然に防止する事は重要な課題であると考える。本研究では、ある海運会社一社が国内のグループで保有している船舶の運航トラブルデータを用いて、データベースを作成して、人的要因の伴う運航トラブルの傾向分析やFMEA(Failure Mode Effects Analysis) に基づく機器類に関するトラブル分析、さらに重大事故には4M5E 分析を用いて要因と対策について検討を行った。

キーワード：物流・海運、運航トラブル、トラブル要因分析、FMEA、4M5E 分析

１．緒言

就航中の船舶に生じる様々なトラブルは運航側の金銭や物的な損失ばかりでなく、荷主である顧客の信頼に影響をおよぼす事象である。また、船舶設計上の課題として価値創成にも繋がる。本研究では、ある海運会社一社が国内のグループで保有する船舶15 隻の2007 年から2011 年上半期の運航トラブルデータ約200 件を用いて、データベースを作成して、人的要因の伴う運航トラブルの傾向分析、FMEA に基づく機器類のトラブル分析、さらに重大事故を4M5E 分析により要因対策分析として検討を行った。

２．運航トラブルデータ分類と分析

運航トラブルデータベースの構築に際して、運航トラブルの要因を、トラブルの発生した船名や船齢、損失額等の他に、損失カテゴリの定義として「運航ヒューマンエラー」、「船体･機関･艤装」、「不可抗力」に大別して、各カテゴリに分析項目の設定を行った。なお、「運航ヒューマンエラー」の項目では、主に、損失原因、損失状況、損失現象から構成し、また「船体・機関・艤装」では故障モードや影響度を検討するためFMEA に関連する項目の抽出を試みた。

２．１　運航ヒューマンエラーのトラブル傾向分析

運航ヒューマンエラーに関する分析ではトラブル全体の傾向を分析するために、損失状況別にシェア分析し、損失額のランク付けした。損失額のランクが高いトラブルの状況には、制限水域操船中、バンカー作業中、整備作業中、建造作業中であることが分かった。また、損失状況と損失現象のクロス集計による要因分析を行い、トラブル発生件数と損失額の累計について分析を行い、対策を講じるべきトラブルの優先度を検討できことが分かった。

２．２　船体・機関・艤装に関する FMEA

損失カテゴリが船体・機関・艤装に属する事象に関してはFMEA による分析方法について検討を行った。FMEA は故障・事故要因に対して故障の頻度、影響度、検出の難易度を点数化して対策を打つべき評価を行う分析方法である。ここでは少ない限られた情報量でも大凡評価できるように簡易分析法として工夫した。これは運航トラブルデータの部品や製品毎のトラブル発生件数を頻度とし、その1 件当たりの損失費用を前述したシェア分析によるランクを影響度とし、トラブル発見段階に応じて定め点数化した検出難易度を定義し、これらの三つの数値を掛け危険優先指数 (RPN：Risk Priority Number) として、対策実施の優先度を定め分析した。

２．３　重大事故に関する 4M5E 分析

損失金額が甚大なトラブルは4M5E 分析を行った。これは発生した事象について4M として Man(人)、Machine(設備、機器)、Media(環境)、Management(管理) の視点から事故要因を抽出し、5E として Education(教育･訓練)、Engineering(技術･工学)、Enforcement(強化・徹底)、Example(模範・事例)、Environment(環境) の視点から事故対策を検討するように構成し、これらをクロスさせて分析する方法である。ここでは主機の一部である補助ブロアに不具合が発生した事例について分析を行った。

３．結言

運航トラブルを分析するために運航トラブルデータベースを構築し、トラブル傾向分析、FMEA、4M5E 分析を試み、要因分析の有効性を確認した。

3 次元 TDOA 測位に高度情報を適用した評価結果

○正会員　宮崎　裕己（電子航法研究所）　非会員　島田　浩樹（電子航法研究所）
非会員　小菅　義夫（長崎大学）　非会員　田中　俊幸（長崎大学）

要旨

新しい航空機監視システムである広域マルチラテレーション（WAM: Wide Area Multilateration）[(1)]は、TDOA（Time Deference of Arrival）方式により 3 次元測位を行うが、高さ方向の測位誤差に起因して発生する平面方向測位誤差の軽減が課題の一つとして挙げられている。高さ方向の誤差を軽減させる対策として、ターゲットの高度情報を適用して 2 次元測位を行う手法がある。本稿では、実航空機の監視データにより、高度情報を適用した 2 次元測位の平面方向測位と 3 次元測位による測位誤差の評価結果を報告する。

キーワード：航空・宇宙、TDOA 測位、広域マルチラテレーション（WAM）、航空機監視システム

1. まえがき

我が国の首都圏空港では、滑走路や誘導路の増設等により空港容量の拡張が行われている。空港容量を拡張するには、これら空港インフラの整備に加えて航空交通管制の運用方式を高度化することも必要であり、成田国際空港では平行滑走路の同時離着陸方式の導入が進められている。

このような高度な運用方式を実施するには更なる安全の確保が重要であり、空港周辺の空域を飛行する航空機を高頻度かつ高精度で測位する航空機監視システムが必要不可欠となる。現在、空港周辺空域の監視は、二次監視レーダー（SSR: Secondary Surveillance Radar）[(1)]を利用して行われているが、測位の頻度が低いことや空港近傍で性能が低下するなどの課題が指摘されている。このため、SSR の課題を解決可能とする新しい監視システムが要望されており、その候補として広域マルチラテレーション（WAM: Wide Area Multilateration）が期待されている。

この WAM は、航空機トランスポンダが送信する信号を地上に配置された複数の受信局で検出して、その検出時間差から航空機の位置を算出する監視システムである。すなわち WAM は、TDOA（Time Deference of Arrival）方式を利用して測位を行う。WAM は高さ方向も含めた 3 次元の測位が必要とされる。しかしながら、一般的に高さ方向の測位誤差は大きく、更には、この高さ方向の測位誤差に起因して平面方向の測位誤差も増大する。このため、高さ方向誤差の軽減が課題となっており、その解決策の一つとして、航空機の高度情報を測位に適用して 2 次元により測位を行う手法が挙げられている[(2)]。

このような背景から、WAM 実験装置[(3)]で取得した実航空機の監視データにより、高度情報を適用した 2 次元測位の平面方向測位誤差を 3 次元測位と比較する評価試験を行った。

本稿では、初めに WAM の概要を述べ、次に WAM 実験装置について受信局配置等を説明する。そして、2 次元および 3 次元測位による平面方向の測位誤差の評価試験について、その評価結果を示す。

2. WAM の概要

2.1　測位原理

図 1 に WAM 測位の概念図を示す。WAM は、航空機に搭載されたトランスポンダが送信する SSR の応答やスキッタ信号[(3)]を複数の受信局で検出して到達時刻を測定する。次に、測定した到達時刻から受信局間の到達時間差を求めて、航空機と各受信局との距離差に変換する。そして、「距離差が一定」との条件からなる双曲線（双曲面）同士の交点を求めることで航空機の位置を算出する。

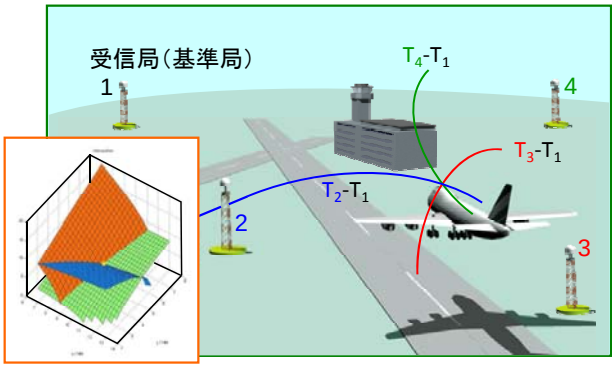


図 1　WAM 測位の概念図

2.2 測位誤差

WAM の測位誤差（σ_p）は、距離差（信号到達時間差）の測定誤差（σ_d）と、航空機と受信局の位置関係による精度劣化指数（DOP: Dilution of Precision）を乗じることで概算でき、一般的に以下の式（1）で表される[(1) (4)]。

$$\sigma_p = \sigma_d \times \mathrm{DOP} \quad \cdots (1)$$

ここで、σ_p と σ_d は標準偏差の値である。σ_d は無相関で同一と仮定する。また、受信局間のクロック誤差（オフセット誤差）は 0 とする。DOP は、平面方向測位では HDOP（Horizontal Dilution of Precision）、高さ方向では VDOP（Vertical Dilution of Precision）が利用される。σ_d は時刻検出の分解能に大きく依存し、高い分解能を得るには信号検出のサンプリング周波数を増加させることが必要である。一方 DOP は、図 2 に示す HDOP の分布例のように、受信局が航空機を取り囲む配置となる場合に良好な（低い）値が得られる。このため、広い覆域に対して良好な測位精度を確保するには、受信局を広範囲に配置することが必要になる。

2.3 2 次元測位による測位誤差の改善

WAM の受信局は地上面に配置されるため、受信局アンテナの設置高はおおむね同じ高さとなる。このため図 3 に示すように、VDOP は一般的に HDOP よりも悪い（高い）値となる。VDOP が悪いエリアでは高さ方向の測位誤差が増大するが、この高さ方向の誤差増大は平面方向の誤差も増加させるため、高さ方向の誤差軽減が課題となっている[(5)]。一方で飛行する航空機の高度情報を得ることができれば、当該高度に基づいた 2 次元による WAM 測位を行うことで、測位誤差の改善が期待できる。航空機の高度情報は、航空機トランスポンダが送信する一部の信号内に気圧高度情報として含まれており、本信号を解読することにより取得可能である。

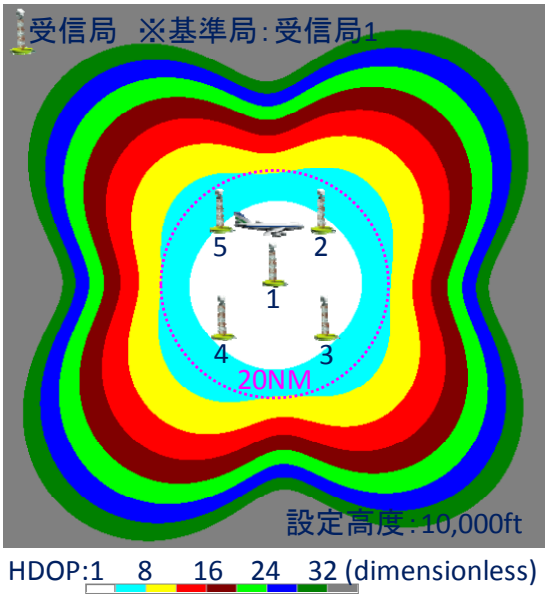


図 2 HDOP の分布例

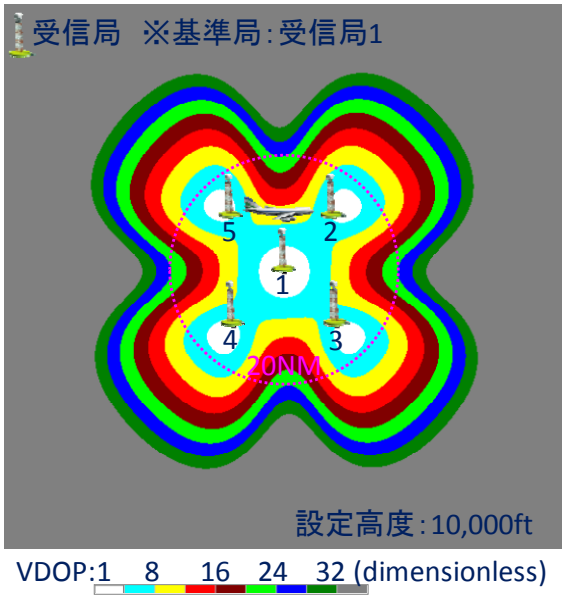


図 3 VDOP の分布例

3. WAM 実験装置

3.1 装置構成

図 4 に WAM 実験装置（以下、実験装置という）の構成を示す。実験装置は、受信局（8 局）とターゲット処理装置から構成され、各装置は広域ネットワーク（WAN: Wide Area Network）で接続される。受信局は、SSR 応答とスキッタ信号を受信して、検出時刻を測定するとともに信号内容を解読する。そして、これらの情報をターゲットレポートにまとめてターゲット処理装置に出力する。時刻検出のサンプリング周波数（分解能）は 500MHz（2 ナノ秒）を採用している。また、受信局間の時刻同期には高い同期精度が得られる GPS Common View 方式を採用している。ターゲット処理装置は、各受信局から転送されるターゲットレポートを相関処理して、WAM 測位や追尾処理等を行う。

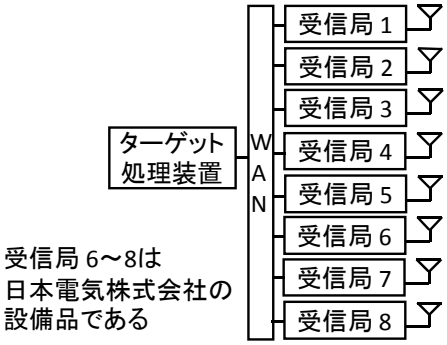


図 4　WAM 実験装置の構成

3.2　受信局の配置

実験装置の受信局は、羽田空港周辺の空域を対象に配置している。図 5 に実験装置の受信局配置を HDOP 分布とともに示す。航空機が低高度で飛行する羽田空港の周辺では建造物等による信号の遮蔽や反射が頻発するため、特に冗長性を持たせて受信局を配置している。

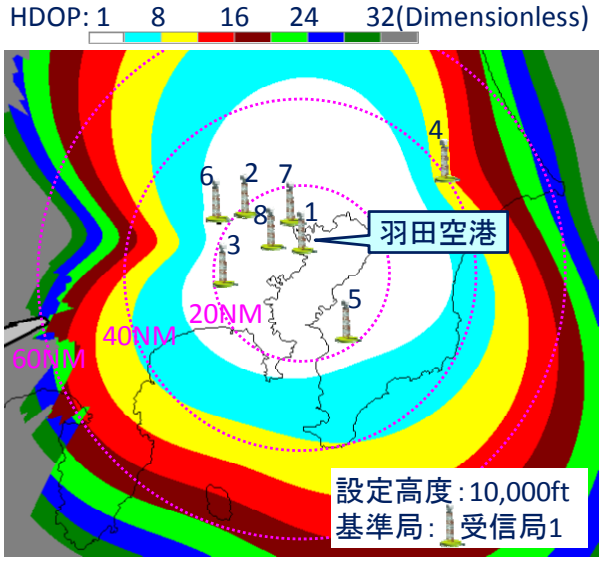


図 5　実験装置の受信局配置と HDOP 分布

4. 評価試験

4.1　評価方法

3 次元測位と高度情報を適用した 2 次元測位に対して、実航空機の監視データによる平面方向の測位誤差を比較した。監視データはエアライン機を利用して取得した。測位誤差は二乗平均誤差（RMS）値から算出した [6]。測位誤差を算出する際の真位置には、航空機が送信する拡張スキッタ信号 [7] に含まれる GPS（Global Positioning System）位置を利用した。本 GPS 位置情報は遅延等の誤差 [8] が含まれているため、本評価結果の測位誤差は参考値である。高度情報も拡張スキッタ信号に含まれる気圧高度値を利用した。ただし、気圧補正は行っていない。

4.2　評価結果

図 6 に評価対象航空機の航跡を VDOP 分布とともに示す。VDOP 値は受信局配置の外側で急激に増加しており、このエリアでは高さ方向の測位誤差が増大する。また、表 1 に羽田空港からの距離に対する平面方向測位誤差の比較を示す。表 1 から、VDOP 値が比較的低い 20NM までは、2 次元および 3 次元測位における測位誤差はほぼ同じ値が得られている一方、20NM 以遠では 2 次元測位により測位誤差が減少していることが分かる。

評価の結果、高度情報を適用した 2 次元測位を行うことにより、VDOP の値が高い、すなわち、高さ方向の測位誤差が大きいエリアでは、3 次元測位と比較して平面方向誤差の減少が示されており、WAM 測位精度の改善が期待できる。

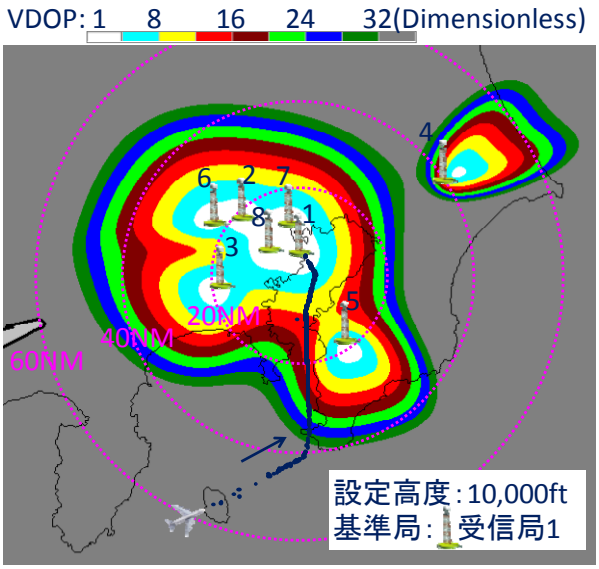


図 6　評価対象航空機の航跡と VDOP 分布

表 1　平面方向測位誤差の比較

羽田空港からの距離	2次元測位（+高度情報）	3次元測位
2-10NM	37.7m	40.2m
10-20NM	38.4m	32.5m
20-30NM	43.1m	90.3m
30-40NM	138m	204m
40-50NM	293m	361m
50-60NM	461m	545m

5. むすび

本稿では、WAM の概要と実験装置について説明し、3 次元測位と高度情報を適用した 2 次元測位による平面方向誤差の比較評価結果を示した。評価の結果、VDOP の悪いエリアでは、高度情報を適用した 2 次元測位を行うことにより、3 次元測位と比較して平面方向の測位誤差が減少することが示された。ただし本結果は、真位置に誤差が含まれた状況での比較であるため、今後は真位置誤差を考慮した評価を行う計画である。

6. 謝辞

実験装置の設置に多大なご協力いただきました国土交通省の関係各位に深く感謝の意を表します。

7. 参考文献

(1) ICAO: Aeronautical Surveillance Manual, DOC 9924, AN/474, First Edition, 2010.
(2) K. Pourvoyeur, A. Mathias, R. Heidger: Investigation of Measurement Characteristics of MLAT/WAM and ADS-B, Proceedings of ESAV'11, 2011.09.
(3) 宮崎・島田・角張・二瓶：広域マルチラテレーションの試作・評価，日本航海学会誌 NAVIGATION，第 182 号，pp.80-86，平成 24 年 10 月.
(4) 坂井：GPS 技術入門，pp.42-46，東京電機大学出版局，2003 年.
(5) G. Galati, P. Magaro, V. Paciucci: "Target Location in Wide Area Multilateration Using the Elevation Angle", Proceedings of ESAVS 2007, 2007.03.
(6) EUROCAE：Technical Specification for Wide Area Multilateration (WAM) System, Version 1.0, ED-142, 2009.10.
(7) ICAO："Aeronautical Telecommunications", Annex10 Volume IV, Fourth Edition, 2007.07.
(8) RTCA: Minimum Operational Performance Standards for 1090MHz Extended Squitter ADS-B and TIS-B, RTCA/DO-260B, 2009.12.